

ПРЕДИСЛОВИЕ

Металловедение и физические основы сварки относятся к числу основополагающих учебных дисциплин для специальностей газотеплоснабжения и энергетики высших учебных заведений страны. Изложенный материал может быть использован не только студентами и преподавателями вузов, но и широкими кругами инженерно-технических работников газовой и энергетической промышленности.

Газовое, энергетическое оборудование и трубопроводные системы — это в основном металлические изделия, а сварка является основным способом их соединения.

В книге рассмотрены, главным образом, строение и свойства основных конструкционных металлов и физические основы сварки, получившие применение в газовой промышленности и энергетике, а также кратко описаны другие материалы. Это связано, прежде всего, с тем, что получение, разработка новых материалов, способы их обработки являются основой современной энергетики и во многом определяют уровень научно-технический прогресс и экономический потенциал государства.

При написании книги оказалось трудно четко разделить материалы на «старые» и «новые», так как номенклатура их, применяемой в современной технике непрерывно обновляется. Кроме того, следует учитывать, что для одной отрасли промышленности некоторые материалы являются традиционными, а для других — устаревшими. Проектирование рациональных, конкурентноспособных изделий, организации их производства и техническое обслуживание невозможны без должного технологического обеспечения и достаточного уровня знаний в области материаловедения и технологии. Последнее является важнейшим показателем образованности инженера в области техники.

Наконец, металловедение и физические основы сварки служат базой для изучения многих специальных дисциплин.

Сведения о металлах и их сплавах были известны в глубокой древности и накапливались веками. Они сыграли огромную роль в развитии материальной культуры общества, так как легли в основу развития всех отраслей народного хозяйства.

Металловедением называется наука, устанавливающая связь между составом, структурой и свойствами металлов и сплавов, изучающая закономерности их изменения при тепловых, химических, механических, электромагнитных и радиоактивных воздействиях.

Металловедение как наука возникла в середине XIX в. Впервые связь между строением и свойствами металлов установил

П.П.Аносов (1799 — 1855 гг.), применивший для изучения стали микроскоп. Позднее (1863 г.) микроскоп для исследования строения металлов использовал Сорби (Англия).

Однако основы научного металловедения были заложены выдающимся русским металлургом Д.К.Черновым (1839 — 1921 гг.), который за свои работы был назван в литературе отцом металлографии.

Работы Д. К. Чернова, имеющие мировое значение, позволили создать научные основы многих технологических процессов и в первую очередь научные основы производства и наиболее рациональной термической обработки высококачественных сталей.

Продолжением работ Д.К.Чернова явились исследования большой группы ученых: Н.В.Гутовского, А.А.Ржешотарского, Н.П.Чижевского, А.А.Байкова (Россия), Ф. Осмонда (Франция), Р.Аустена (Англия), Б.Розебома (Голландия), П.Геренса (Германия) и др.

В начале XX в. большую роль для развития металловедения сыграли работы Н.С.Курнакова, который применил для исследования металлов методы физико-химического анализа (электрический, дилатометрический, магнитный и др.).

Большое значение в развитии металловедения и термической обработки имели работы Ю.Розери и Н.Мотта (Англия), Ф.Зейтца, Э.Бейна и Р.Мейла (США), Велера (Германия) и др.

Развитие металловедения неразрывно связано с работами советских «ученых». В период индустриализации страны, возникли многочисленные исследовательские лаборатории на заводах и втузах, а также был создан ряд специализированных исследовательских институтов, в которых развернулась широкая работа в области металловедения и термической обработки металлов.

Большой вклад в развитие отечественного металловедения внесли С.С.Штейнберг, Н.А.Минкевич, Г.В.Курдюмов, А.М.Бочвар, А.А.Бочвар, С.Т.Кишкин, В.Д.Садовский и их школы.

Достижения в области физики прочности и пластичности за последние годы позволили перевести физическое металловедение на качественно новый уровень и обеспечили небывалый прогресс в разработке конструкционных и инструментальных материалов в различных областях техники. Исследование реальной структуры сварного шва показали принципиальную возможность получения соединений с прочностью, приближенной к теоретической, которая определяется прочностью межатомных связей.

Автор выражает благодарность рецензентам за ценные замечания, позволившие улучшить изложенный материал.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ХАРАКТЕРИСТИКА И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

1. ОСНОВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1.1. МАТЕРИАЛЫ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Материалы, используемые при производстве и ремонте газовых и энергетических систем, условно можно разделить на три группы:

- основные или конструкционные, из которых изготавливаются детали и узлы машин и приборов;
- вспомогательные или технологические, основным назначением которых является сопровождение технологического процесса производства и ремонта машин и приборов;
- дополнительные, их назначением является выполнение дополнительных функций при производстве и ремонте машин и приборов, например, смазки или ингибиторы коррозии.

Современное газовое оборудование, трубопроводные системы - это главным образом металлические изделия. Металлические материалы составляют основную группу конструкционных материалов, куда входит железоуглеродистые сплавы, цветные и некоторые благородные металлы, а также неметаллы.

В технике под металлом понимают вещества, обладающими «металлическим блеском», в той или иной мере присущем всем металлам и пластичности. По этому признаку металлы можно легко отличить от неметаллов, например, дерева, камня, стекла или фарфора. Кроме металлического блеска и пластичности, все металлы обладают высокой электропроводностью и теплопроводностью. Теория металлического состояния рассматривает металл как вещество, состоящее из положительно заряженных ионов, окруженных отрицательно заряженными частицами - электронами, слабо связанными с ядром. Эти электроны непрерывно перемещаются внутри металла и принадлежат не одному какому-то атому, а всей совокупности атомов.

Приступая к изучению предмета, прежде всего, следует ответить на вопрос: *что такое металл?*

В химии под металлами понимают определенную группу элементов, расположенную в левой части периодической таблицы Д.И.Менделеева. Элементы этой группы, вступают в химическую реакцию с элементами, являющимися неметаллами, отдают им свои внешние, так называемые валентные электроны. Это является следствием того, что у металлов

внешние электроны непрочно связаны с ядром; кроме того, на наружных электронных оболочках электронов немного, тогда как у неметаллов электронов много.

Вещества, в состав которых может входить несколько элементов – металлов, часто с примесью заметных количеств элементов-неметаллов называют металлическим сплавом, например, сплав железа с углеродом – это железоуглеродистый материал.

В ходе развития человеческого общества возрастала потребность в металлах различных свойств для различных целей. В то же время увеличилось количество металлов необходимых для нормальной жизнедеятельности людей. Люди могут более эффективно и экономично исследовать природные материалы для своих целей.

На рис.1.1. приведен краткий классификатор материалов, используемых при производстве и ремонте машин и приборов.

Большую группу материалов составляют вспомогательные материалы и они играют существенную роль в формировании качества изделий. Без вспомогательных материалов трудно или практически невозможно осуществлять технологический процесс изготовления и ремонта любого металлического изделия. Вспомогательные материалы – это не что-то второстепенное немаловажное, а от их свойства зависят не только производительность и качество формообразования поверхности детали, но и степень их опасности на человека и окружающую среду. Аналогично относятся и к дополнительным материалам. Если в процессе производства и ремонта машин и приборов не применить межоперационную защитную смазку, то поверхность металла может быстро заржаветь, покроется коррозией.

Металлические материалы используются в качестве основных конструкционных материалов, отличаются не только механическими, физико-химическими, но и технологическими свойствами.

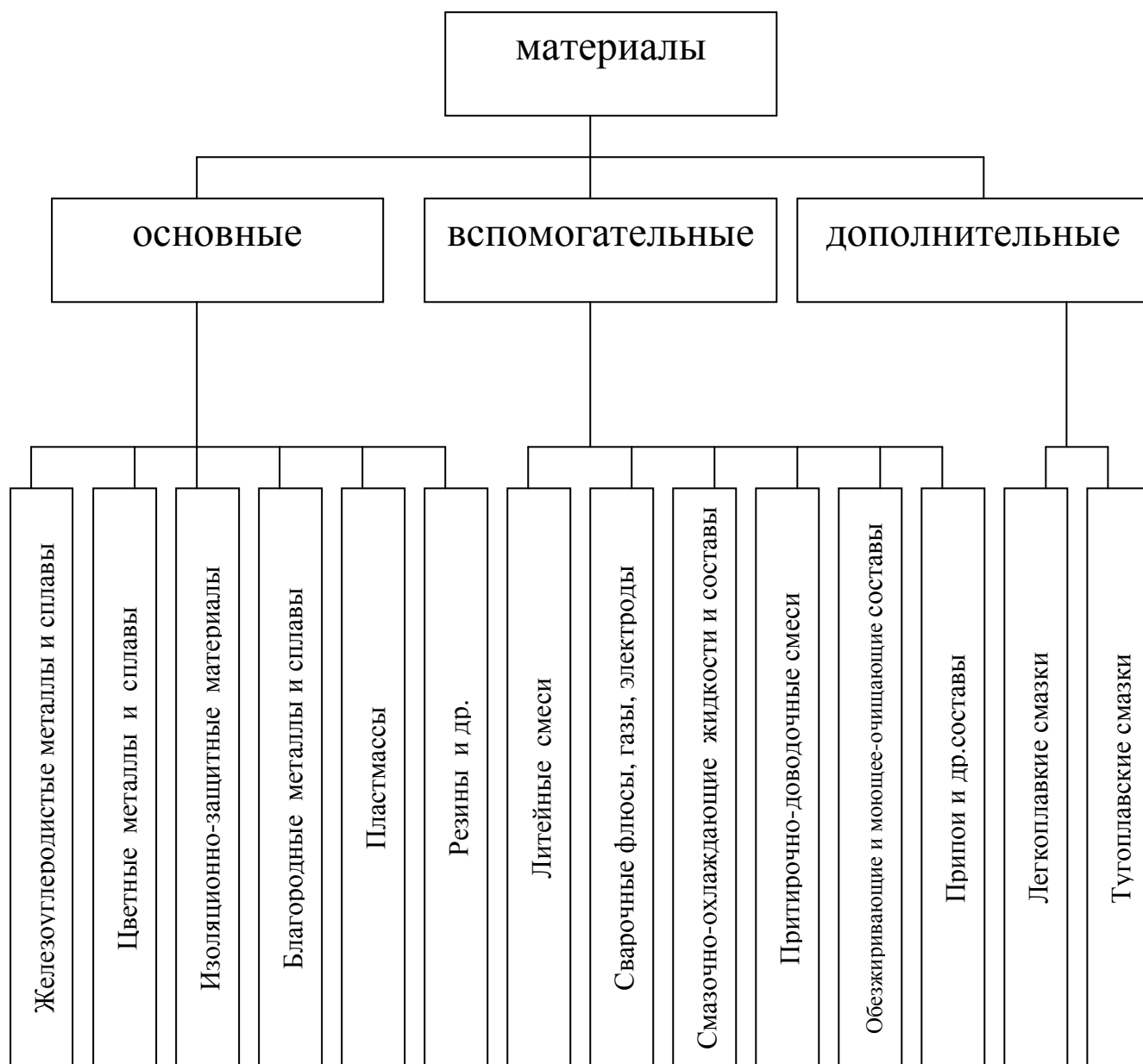


Рис.1.1 – Классификация материалов

1.2. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Основные (конструкционные) материалы занимают самую обширную группу материалов, из которых изготавливаются детали и узлы, и целые изделия газотеплоэнергетики. Ведущее место занимают черные металлы и сплавы (чугун, сталь) на основе железа и углерода.

Черные металлы имеют темно-серый цвет, большую плотность (кроме щелочноземельных), высокую температуру плавления, относительно высокую твердость.

Металлические материалы, в свою очередь, подразделяются на:

- железные металлы: железо, кобальт, никель (так называемые ферромагнетики) и близкий к ним по свойствам марганец. Кобальт, никель и марганец часто применяются как добавки к сплавам железа, а также в качестве основных для соответствующих сплавов, похожих по своим свойствам на высоколегированные стали;

- тугоплавкие металлы, температура плавления которых выше, чем железа (то есть выше 1539°C), применяются как добавки к легированным сталям, а также в качестве основных для соответствующих сплавов;

- урановые металлы - актиниды, имеющие преимущественное применение в сплавах для атомной энергетики;

- редкоземельные металлы (РЗМ) – лантан, церий и др., объединяемые под названием лантаноидом, и сходные с ним по свойствам иттрий и скандий, эти металлы обладают весьма близкими химическими свойствами, но довольно разными физическими. Их применяют как присадки к сплавам к другим элементам. В природных условиях встречаются вместе и вследствие трудности разделения на отдельные элементы для приладки обычно применяют «смешенный сплав», так называемый монометалл. К таким смешенным сплавам РЗМ относят ферроцерий (сплав церия и железа с заметными количествами других РЗМ), дидим (сплав неодима и празеодима преимущественно) и др.;

- щелочноземельные металлы в свободном металлическом состоянии не применяются, за исключением специальных случаев.

Цветные металлы чаще всего имеют характерную окраску: красную, желтую, белую. Обладают большой пластичностью, малой твердостью, относительно низкой температурой плавления, для них характерно отсутствие полиморфизма. Наиболее типичным металлом этой группы является медь. Цветные металлы подразделяются на:

- легкие металлы - бериллий, магний, аммоний, обладающие малой плотностью;

- благородные металлы - серебро, золото, металлы платиновой группы (платина, палладий, иридий, родий, осмий). К ним может быть отнесена и «полублагородная» медь. Обладают высокой устойчивостью против коррозии;

- легкоплавкие металлы - цинк, ртуть, олово, свинец, таллий, сурьма и элементы с ослабленными металлическими свойствами - галлий, германий.

Сформировалась целая наука, задачей которой как раз и является получение металлов и сплавов, изучение строения, свойств металлов и сплавов, использование их в хозяйстве и промышленности. Существенную роль в развитии отечественной технологии производства и ремонта газового оборудования, машин и приборов играют вспомогательные материалы.

1.3. ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В настоящее время промышленность широко применяет высокомолекулярные органические соединения, которые принято называть *полимерами*. В отличие от простых веществ (вода, щелочь, кислота, спирт и т. д.), молекулы которых содержат единицы и десятки атомов, высокомолекулярные соединения — полимеры состоят из сотен и тысяч атомов. Такие молекулы-гиганты называют *макромолекулами*. Высокомолекулярные соединения в зависимости от формы макромолекул разделяют на линейные, разветвленные и пространственные (сетчатые).

Макромолекулы линейных полимеров представляют собой цепи, длина которых в сотни и тысячи раз превышает размеры поперечного сечения.

Макромолекулы разветвленных полимеров, в отличие от макромолекул линейных полимеров, имеют боковые ответвления. Число боковых ответвлений и отношение длины основной цепи к длине боковых цепей различны.

Линейные и разветвленные полимеры построены из макромолекул, связанных между собой межмолекулярными силами. Они, как правило, эластичны, растворимы, плавятся или размягчаются при нагревании. Такие полимеры называют *термопластичными*.

Полимеры, у которых наряду с межмолекулярными имеются и химические связи между линейными цепями макромолекул, называют *пространственными*.

Наличие химических связей делает пространственные полимеры нерастворимыми и неплавкими при нагревании, из них нельзя формировать волокна и пленки.

Полимеры, способные образовывать пространственные структуры при нагревании или под действием других факторов, называют *термореактивными*.

В процессе синтеза сначала получают линейные полимеры, которые затем в процессе переработки переводят в пространственные. Регулируя частоту сетки (химические связи между макромолекулами), полимерам придают определенные свойства. В зависимости от числа поперечных связей между молекулярными цепями изменяются механические и другие свойства. Пространственные полимеры обладают повышенной термостойкостью и более высокими упругими свойствами, чем линейные полимеры.

Высокомолекулярные соединения разделяют на природные и синтетические вещества. К природным органическим высокомолекулярным соединениям относят полисахариды (целлюлоза, крахмал), белки, натуральный каучук. К синтетическим органическим, высокомолекулярным соединениям относят большую группу

синтетически полученных веществ: синтетические смолы, синтетические волокна, каучуки и т. д.

По химическому составу высокомолекулярные соединения — полимеры разделяют на карбо- и гетероцепные полимеры.

Карбоцепные полимеры — полимеры, у которых атомы в элементарном звене и звенья в макромолекуле имеют один тип соединения — углерод-углерод.

К карбоцепным полимерам относят натуральный каучук, синтетические высокомолекулярные предельные, непредельные и ароматические углеводороды и др.

Полиэтилен высокого давления получают полимеризацией этилена при 200°C и давлении $100\text{—}200\text{ Мн/м}^2$. В качестве инициатора полимеризации применяют кислород или перекиси.

Полиэтилен низкого давления получают полимеризацией этилена, растворенного в растворителе (бензин и др.). Процесс осуществляют при температуре до 60°C и давлении $0,4\text{—}0,5\text{ Мн/м}^2$ в присутствии катализаторов [триэтилалюминий $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ и четыреххлористый титан TiCl_4 , растворенные в дизельном масле, ксилоле или хлорбензоле]. В зависимости от способа полимеризации этилена полиэтилен имеет различные свойства (рис.1.2).

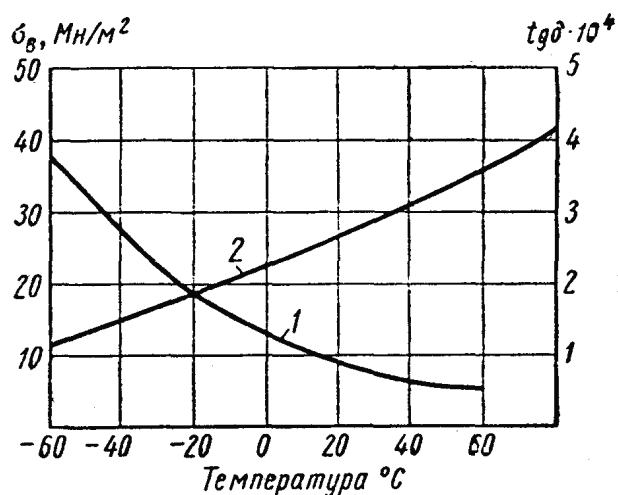


Рис.1.2 - Зависимость свойств полиэтилена от температуры:
1 - предел прочности на растяжение;
2 — тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta$)

Полиэтилен устойчив против щелочей, растворов солей и сильных кислот низкой концентрации, но разрушается концентрированными кислотами, трихлорэтиленом, CCl_4 , циклогексаном, хлорбензолом, толуолом. Он также неустойчив против галогенов, серы, кислорода при нагревании, нерастворим во многих растворителях при комнатной температуре.

Из полиэтилена изготавливают кислотостойкие трубы, краны, различную арматуру, аккумуляторные баки и т. д. Благодаря высоким

диэлектрическим свойствам его применяют для изготовления высокочастотного кабеля (радиолокационный, телевизионный и др.). Пленочные материалы из полиэтилена применяют при строительстве парников, навесов, защиты растений от заморозков и т. д.

Полипропилен. Сырьем для получения полипропилена является пропилен. В зависимости от способа и условий полимеризации полипропилен можно получить в виде атактического и изотактического полимера.

В макромолекуле атактического полимера, построенной из цепочки атомов углерода, различные группы атомов расположены вдоль оси беспорядочно.

Полипропилен обладает высокой химической стойкостью против растворов кислот и щелочей при повышенных температурах. В органических растворителях он нерастворим при комнатной температуре, а при 80°C растворяется в бензине, толуоле и хлорированных углеводородах. Полипропилен чувствителен к кислороду воздуха при повышенных температурах, но при введении сажи (1—2%) его стойкость повышается.

Из полипропилена изготавливают трубы, фитинги, заменяющие трубы, и другие изделия из сталей, легированных дефицитными компонентами (Ni, Mo, V, W). Футеровка листовым полипропиленом химической аппаратуры, работающей с агрессивными средами до 120°C (на уксуснокислотных заводах и т.д.), изготовление емкостей для хранения агрессивных жидкостей и реактивов обуславливают незаменимость полипропилена как конструкционного материала. Из пропилена изготавливают упаковочные пленки, обладающие высокой прочностью, малой проницаемостью для газов, водяных и других паров.

Полипропилен является сырьем для получения волокон. Температура размягчения таких волокон равна 170°C. Прочность на разрыв волокон выше прочности полиамидных и полиэфирных волокон. Волокна полипропилена устойчивы к кислотам и щелочам.

Полиизобутилен при нормальных условиях представляет собой бесцветный газ.

В качестве катализатора применяют фтористый бор и др. Для поддержания низкой температуры изобутилен растворяют в жидком этилене, этаноле или в гексане. В процессе полимеризации получается каучукоподобная масса, напоминающая мягкую резину, с молекулярным весом от 100000 до 400000 и более.

В отличие от каучуков полиизобутилен не имеет двойных связей в макромолекуле. При температуре от —70 до +100°C полиизобутилен сохраняет упругопластические свойства, обладает хорошей водостойкостью, высокой газонепроницаемостью, не растворяется в

кислородсодержащих растворителях (CH_3OH , C_2H_5OH и др.), но растворяется в углеводородах алифатического и ароматического ряда.

Из полиизобутилена изготавливают листовые материалы, непроницаемые для газов и жидкостей. При получении антикоррозионных и гидроизоляционных листовых материалов в полиизобутилен вводят сажу, графит, тальк и другие вещества, количество которых достигает 300% и более. Листы из полиизобутилена применяют в качестве обкладочного материала по металлу и бетону, для защиты их от действия агрессивных сред и в качестве прослоечного эластичного изолирующего материала для покрытия полов, перекрытий, комбинированных футеровок. Соединение листов с металлом, бетоном, деревом осуществляют при помощи клеев, причем прочность сцепления столь велика, что в некоторых случаях превышает прочность полиизобутилена.

В технике полиизобутилен заменяет свинец и другие дефицитные металлы, увеличивает срок службы оборудования.

Стеклопласты — материалы, получаемые из синтетических полимеров и наполнителя (стеклянные волокна, полотно и др.). Связующими являются полимеры линейного строения, способные образовывать трехмерную структуру или отверждающиеся в процессе формования. Содержание связующих составляют 30—55% от веса стеклопластика. Наполнителем являются стекловолокнистые материалы на основе непрерывного волокна.

Стеклопласты на основе кремнийорганической смолы не теряют прочности при 250°C , выдерживают нагрев до 2750°C в течение 2 мин., более стойкие, чем сталь, в кислородно-ацетиленовом пламени в течение 1 мин. Это дает основание предположить, что из них можно готовить корпуса космических ракет.

Стеклопластики, полученные на основе полиамидов, поликарбонатов, используют для изготовления брони, не пробиваемой пулями. Из стеклопластиков изготавливают направляющие лопатки компрессоров, авиационные и ракетные двигатели, что облегчает вес этих аппаратов. Стеклопластики хорошо сопротивляются действию ударных и динамических нагрузок и способны гасить колебания элементов конструкции.

Стеклопластики разделяют на стеклотекстолиты, анизотропные стеклопласты и стекловолокниты.

Стеклотекстолиты — слоистые листовые материалы, получаемые горячим прессованием уложенных правильными рядами полотнищ стеклянной ткани, пропитанной связующим (полиэпоксидные, кремнийорганические, связующее ВФМ и другие смолы).

Стеклотекстолит выпускают в виде листов длиной до 2,4 м, шириной до 1 м, толщиной 0,5—15 мм. Свойства стеклотекстолитов зависят от связующего и наполнителя. В качестве конструкционного материала

стеклотекстолиты используют для изготовления фюзеляжей самолетов-снарядов, кузовов легковых и грузовых автомобилей, деталей машин, лодок, судов, самолетов и т. д. Они незаменимы как высококачественный электроизоляционный материал, применяемый в радио- и электротехнике.

Стекловолоконный анизотропный материал (СВАМ) получают из ориентированных стеклянных волокон (путем параллельной их укладки при одновременном нанесении на них связующего (жидкие бутваро-фенольные и другие смолы). Эти материалы обладают, подобно фанере, упругой анизотропией, т.е. имеют одинаковые свойства в продольном и поперечном направлениях и более низкие свойства под углом. Свойства СВАМ зависят от способа укладки и направления волокон. Так, сопротивление СВАМ растяжению в продольном и поперечном направлении одинаково и равно $420\text{--}500 \text{ Мн/м}^2$, а под углом 45° оно равно 220 Мн/м^2 .

В качестве конструкционного материала СВАМ используют вместо стали для арматуры, так как его удельная прочность больше удельной прочности стали 30ГСА. СВАМ применяют для изготовления труб, стойких против химических реагентов. В судостроении СВАМ используют при строительстве катеров, лодок, баков, труб, деталей и конструкций кораблей и т.п. СВАМ применяют для изготовления кузовов автомашин, прицепов, авто- и железнодорожных цистерн, хранилищ для химических реагентов, а также в качестве электроизоляционного материала (электро-щиты, электро- и радиотехническая аппаратура). В строительстве из СВАМа изготавливают легкие плиты, перекрытия и несущие панели стен, в угольной промышленности из него изготавливают кузова шахтных вагонеток и шахтные крепления, стойкие против влажности, коррозии и загнивания.

Стекловолокниты изготавливают из волокон или ткани и связующего прессованием при высоком давлении. Их используют при изготовлении деталей для обшивки вагонов, облицовочных панелей, огнестойких перегородок, вкладышей подшипников, фрикционных деталей, сильно нагруженных корпусов, термостойких (200°C) изделий и в качестве изоляционного материала. В отличие от СВАМа эти материалы изотропны.

Кровельные материалы получают пропиткой волокон или тканей асфальтом в сочетании с синтетическими смолами. Эти материалы имеют высокую стойкость против гниения, механического износа, воды и более долговечны, чем другие кровельные материалы.

Теплоизоляционные материалы изготавливают из штапельных стекловолокон пропиткой их синтетическими смолами. Эти материалы используют на кораблях и речных судах — рефрижераторах, в железнодорожных вагонах, автобусах и т. д.

Кроме указанных материалов, промышленность выпускает различные рулонные материалы, вату, маты, скорлупу, стекловолоконный холст и т.п.

Из перспективных теплостойких и антикоррозионностойких материалов большой интерес представляют полимерные материалы на основе производных фурана.

Мономеры производных фурана являются доступными, так как сырьем для их получения могут быть отруби, лузга подсолнечника и др.

Фуриловые смолы получают из фурилового спирта. В зависимости от условий получения полимеры могут иметь линейную и пространственную структуру в связи с раскрытием двойных связей фурилового спирта.

Фуриловая смола ФЛ-2 при 80°C представляет собой жидкость, растворимую в спирто-ацетоновой смеси, ацетоне и других растворителях. При 250—300°C смола переходит в неплавкое и нерастворимое состояние. Аналогичный процесс наблюдается и при комнатной температуре под действием катализаторов (сульфокислота и др.). Смола ФЛ-2 обладает высокой адгезией к различным материалам, хорошими пропитывающими свойствами, устойчивостью против кислот и щелочей и повышенной теплостойкостью.

Материалы, полученные на основе смолы ФЛ-2, устойчивы против действия кипящих водных растворов неокислительных минеральных и органических кислот и щелочей (30%-ный раствор NaOH). Смолу используют для получения изделий с графитовым наполнителем. Эти изделия обладают высокой коррозионной стойкостью и теплостойкостью.

Смолы на основе производных фурана и их модификации (ФЛ-2, ФЛ-2А, ФЛ-1, ФЛ-4, Ф-10, Ф-9, ФЛ-12, ФЛ-4С, Ф-7Т и др.) применяют для изготовления клеев и лаков антикоррозионного и других назначений. Из них изготавливают кислотно- и щелочестойкие материалы, устойчивые против неокислительных сред, герметики, отвердевающие в толстом слое без вздутий, и т. п.

Фенопласты представляют собой пластические массы на основе фенольно-альдегидных смол. Получают их при взаимодействии фенолов (фенол, крезол и др.) и альдегидов (формальдегид, фурфурол и др.) в присутствии кислых или щелочных катализаторов.

Фенолформальдегидные смолы разделяют на термореактивные и термопластичные.

Термопластичные (наволачные) смолы образуются при поликонденсации формальдегида CH_2O с избытком фенола $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ в присутствии минеральных кислот. При нагревании они плавятся, а при охлаждении затвердевают. Как в твердом, так и в жидком состоянии они растворяются в спирте.

Термореактивные (резольные) смолы получают поликонденсацией фенола с избытком формальдегида в присутствии щелочей. Эти смолы при нагревании переходят из плавкого и растворимого состояния в неплавкое и

нерастворимое, что связано с переходом линейной структуры макромолекулы полимера в трехмерную структуру.

В состав сложных или композиционных пластических масс, кроме смолы, входят наполнители (древесный шпон, ткани, асбест, графит и др.), улучшающие физико-механические свойства.

В качестве наполнителей для получения изделий общетехнического назначения применяют древесную муку; для получения изделий, обладающих высокой термостойкостью, — асбестовую муку, а для повышения водостойкости и диэлектрических свойств — кварцевую муку. Такие изделия стойки к атмосферным воздействиям, воде, кислотам, щелочам.

Композиционные фенопласты по структуре наполнителя разделяют на неслоистые (прессматериалы) и слоистые (слойматериалы).

Фторопласты представляют собой полимеры галоидопроизводных этилена. Применение в технике находят фторопласт-4 и фторопласт-3. Сырьем для получения фторопласта-4 является тетрафторэтилен ($\text{CF}_2=\text{CF}_2$). Полимеризацию тетрафторэтилена осуществляют эмульсионным способом в автоклаве при 70-80⁰С и давлении 4-10 Мн/м².

Политетрафторэтилен (фторопласт-4) представляет собой рыхлый порошок, превращающийся при холодном прессовании в плотные таблетки. Из этих таблеток получают изделия.

При нагревании фторопласт-4 не плавится, а только размягчается. Если спрессованные таблетки из фторопласта-4 нагреты до 360—380⁰С, то они спекутся в плотную, белую массу; при температуре выше 400⁰С таблетки разлагаются. Свойства фторопласта-4 приведены на рис. 1.3.

Фторопласт-4 не растворяется ни в одном растворителе. Он устойчив против концентрированных кислот и щелочей (царская водка, хлорсульфоновая кислота, горячая азотная кислота, едкие щелочи и другие среды). При нагревании до 300⁰С фторопласт-4 разрушается расплавленными щелочными металлами, фтором, трехфтористым хлором. Он не смачивается и не набухает в воде.

Фторопласт-4 имеет низкий коэффициент трения. Коэффициент трения самых, гладких поверхностей без смазки равен 0,5, а коэффициент трения для поверхностей, покрытых пленкой фторопласта, составляет 0,07. Это свойство политетрафторэтилена широко используют при изготовлении подшипников.

Из фторопласта-4 изготавливают уплотнительные детали (прокладки, сальниковые набивки и др.).

Газонаполненные материалы. Легкие и сверхлегкие полимерные материалы в зависимости от структуры исходного полимера, его физико-

механических и химических свойств имеют различные свойства. Эти материалы получают разными способами:

1) вспениванием эмульсии или раствора мономера, полимера воздухом или газом (этим способом получают только такие материалы, которые после вспенивания отверждаются);

2) вспениванием газообразными продуктами, образующимися в процессе отверждения полимера, или газами, выделяющимися при разложении пенообразователя;

3) вспениванием размягченного полимера газом, находящимся под давлением $10\text{—}25\text{ Мн/м}^2$ при $140\text{—}160^\circ\text{C}$. В качестве пенообразователей используют органические и неорганические вещества.

Газонаполненные полимерные материалы разделяют на пенопласты, у которых микроскопические ячейки, заполненные газом, не сообщаются между собой (плотность до 300 кг/м^3) и поропласты, у которых ячейки сообщаются между собой (плотность более 300 кг/м^3). Такое деление материалов условное, так как они имеют смешанную ячеисто-пористую структуру.

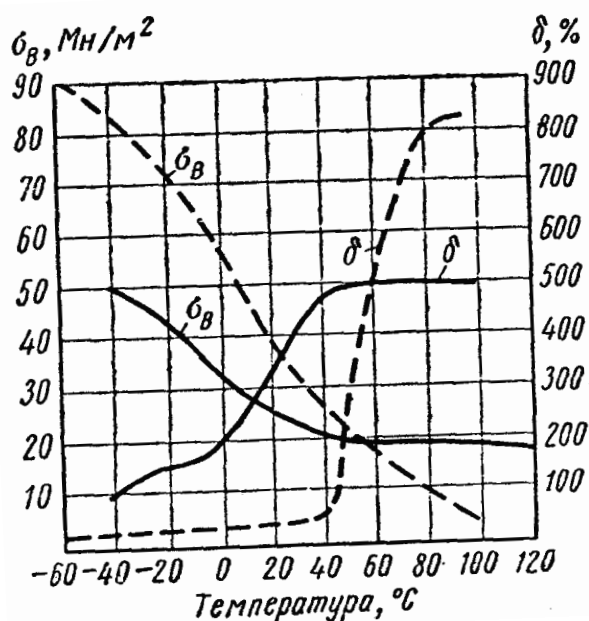


Рис.1.3 - Зависимость механических свойств фторопласта-4 (сплошные кривые) и фторопласта-3 (штриховые кривые)

Полиэпоксидные соединения. При взаимодействии эпихлоргидрина или других соединений, содержащих эпоксигруппы с многоатомными фенолами (дифенилпропан, пирогаллол и др.) в щелочной среде, образуется полиэпоксидная смола — полимер, имеющий линейное строение.

Так как полимеры этого типа содержат свободные реактивные группы, при нагревании и на холоде при взаимодействии с отвердителями (гексаметилендиамин, меламин и др.) их можно превращать в полимеры,

имеющие пространственную структуру. Условия процесса и соотношение реагентов резко влияют на молекулярный вес (500 — 5000) и физико-механические свойства получаемого полимера. В зависимости от молекулярного веса смолы могут быть твердые и жидкие (ЭД-5, ЭД-6, ЭД-13 и др.). Эпоксидные смолы, отвержденные мочевино-фенолформальдегидными смолами и аминами, используют для получения различных материалов, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками на воздухе и в агрессивных средах при нормальной температуре, а модифицированные жирными или смоляными кислотами - используют для покрытия полов, изготовления грунтовок, футеровочных составов и т.п.

Эпоксидные смолы применяются при получении компаундов, используемых в электротехнике для так называемой монолитной изоляции обмоток электрических машин и аппаратов (обмотку помещают в массу пластмассы). Такая изоляция обеспечивает нормальную работу электромашин в самых тяжелых условиях. При применении эпоксидных смол в производстве трансформаторов экономия меди составляет 4т на 1т смолы. Кроме того, масса трансформаторов уменьшается в 3—4 раза, а качество изоляции улучшается.

Эпоксидные смолы допускают высокую степень наполнения (50%) их различными наполнителями (кварц, стекло, стекловолокно, тальк, асбест и т. п.) с сохранением высоких механических и химических свойств. Из смол изготавливают штампы холодной вытяжки, прессформы, литейные модели, стержневые ящики и другой инструмент оснастки, а также фасонные изделия.

Обладая высокими адгезионными свойствами ко многим материалам, прочностью и химической стойкостью против растворителей, щелочей, кислот и других агрессивных сред, эпоксидные смолы используют для изготовления лакокрасочных материалов и различных клеев, а также для производства эпоксипенопластов.

Полиформальдегид получают из альдегида муравьиной кислоты; нерастворим при низких температурах во всех обычных растворителях, стойкий против воздействия многих химических сред, плесени, насекомых, имеет высокие диэлектрические и механические свойства.

Полимер сочетает жесткость, твердость и ударную прочность и может сохранять свойства до 120°C. Он обладает низким коэффициентом трения по стали (0,1 — 0,3), не изменяющимся при температурах от — 20 до +120°C. Поэтому его используют для изготовления шестерен, подшипников. Недостаток полиформальдегида — низкая стойкость его против неорганических кислот и щелочей.

Полиформальдегид можно использовать для изготовления арматуры для водопроводов, труб, листов, деталей вентиляторов.

1.4. КАУЧУК И РЕЗИНА

Синтетический каучук получают полимеризацией и сополимеризацией различных непредельных соединений, а некоторые другие виды каучука и поликонденсацией соответствующих бифункциональных производных углеводородов. Каучук имеет линейную структуру и высокий молекулярный вес $[(0,3—3)10^6]$. При обычной температуре каучук обладает высокой эластичностью, которая сохраняется от -40 до -70°C ; при более низких температурах (-100°C) он становится хрупким, а при $+200^{\circ}\text{C}$ приобретает свойства, близкие к жидкости.

Для получения резины каучук переводят в высокоэластичный редкосетчатый материал при помощи веществ, вступающих в реакцию со звеньями двух или более молекул, образуя поперечную связь между ними.

Эти вещества называют вулканизаторами (сера, окислы и перекиси металлов и др.), а процесс образования сетчатой структуры полимера — вулканизацией.

Смесь каучука с вулканизатором и другими составляющими называют сырой резиной, а после ее вулканизации — резиной. Для снижения стоимости, ускорения процесса вулканизации, придания резине необходимых свойств в составы смесей вводят ускорители вулканизации (полисульфиды и др.), активаторы ускорителей (окислы металлов), наполнители (сажа, окислы кремния, титана и др.), пластификаторы (высшие жирные кислоты), противостарители (парафин, амины и др.). Смесь этих ингредиентов тщательно перемешивают и из полученной смеси изготавливают резиновые изделия. Вулканизацию сырых резиновых изделий, содержащих серу, осуществляют при $125—160^{\circ}\text{C}$ в прессах, котлах-автоклавах в атмосфере горячего воздуха или насыщенного пара, токами высокой частоты.

Резина и резиновые изделия, получаемые на основе природного каучука, не могут полностью удовлетворить многообразным требованиям, предъявляемым к ним. Химия и химическая промышленность успешно решила эту задачу, разработав синтетические каучуки, которые в зависимости от их свойства, используют для получения резины, применяемой в различных областях техники. Особое значение из новых полимерных материалов имеют хлор- и фторкаучуки, кремнийорганические (силиконовые) и полисульфидные (тиоколы) каучуки.

Хлоркаучук или наирит получают эмульсионной полимеризацией хлоропрена. Он не требует специальной пластификации, так как смеси обладают хорошей клейкостью и легко вулканизуются окислами металлов.

Хлоркаучук и резину на его основе используют для получения изделий, устойчивых против многократных деформаций, масел, истирания,

раздира. Наличие атомов хлора в молекуле каучука придает ему негорючесть, повышает химическую стойкость против озона, кислот, щелочей и снижает растворимость в алифатических углеводородах. Хлоркаучук используют для получения резины с повышенной газонепроницаемостью. Он имеет низкую морозо- и термостойкость, при хранении твердеет, теряя пластические свойства, а при нагревании отщепляет хлористый водород.

Хлоропреновый каучук применяют для изготовления кабеля, при производстве изделий из резины, устойчивых против масел, бензина, озона, химических реагентов, для нанесения антикоррозионных покрытий, для устройства полов производственных цехов, которые должны не только обладать химической стойкостью, но и быть искробезопасными и т.п.

Кремнийорганический (силиконовый) каучук получают поликонденсацией циклических силоксанов или линейных силоксандиолов. Макромолекулы этого каучука имеют линейное строение.

Каучук обладает повышенной термостойкостью (250—300°C), высокой озоно- и морозостойкостью, сохраняет эластичные свойства при 100°C и имеет хорошие диэлектрические свойства. Механические свойства, устойчивость против масел, нефтепродуктов у силиконового каучука ниже, чем у любого другого.

Полисилоксановый каучук вулканизуют при помощи органических перекисей (перекись бензоила) при 180—200°C. Усиливающими наполнителями для резины являются коллоидальная окись кремния, окись титана и др.

Каучук СКТВ содержит различное количество метилвинилсилоксановых звеньев (8% этильных групп). Изделия на основе этого каучука могут сохранять свойства в широком температурном интервале (от —55 до + 300°C). Резина на основе каучука СКТВ сочетает высокую термостойкость с низкой остаточной деформацией. Эта резина может работать при температурах от —75 по +250°C.

Метилфенилсилоксановый каучук, содержащий 10% фенольных групп, обладает высокой хладостойкостью (до —100°C), а при содержании их более 20% приобретает негорючесть.

Кремнийорганический каучук и резину на его основе используют в тех случаях, когда требуется высокая тепло- и морозостойкость. Их применяют в авиационной, электро- и радиотехнической промышленности (прокладки, мембраны, клапаны и т. п.).

Полисульфидные каучуки (тиоколы) получают поликонденсацией дихлорпроизводных углеводородов и полисульфидов натрия и калия при 60—70°C.

При получении резины в состав смесей вводят вулканизаторы (перекиси марганца и свинца). Резина обладает стойкостью против

растворителей, озона, света и газонепроницаемостью. Она имеет низкую морозостойкость (-15°C) и теплостойкость ($+30^{\circ}\text{C}$).

Полисульфидный каучук и резину используют для изготовления изделий, работающих в маслах и растворителях, а также в средах, содержащих озон (рукава, прокладки и т. п.).

Фторкаучуки получают полимеризацией трифторхлорэтилена ($\text{CF}_2 = \text{CFCl}$) и сополимеризацией его с винилиденфторидом. Вулканизацию осуществляют в присутствии перекисей, полиаминов, изоцианатов при $110\text{—}130^{\circ}\text{C}$ в течение 30 — 40 мин. во время формования изделий с последующей термической обработкой.

Получаемая резина обладает морозо- и теплостойкостью (200°C), химической стойкостью, устойчивостью против органических растворителей, газонепроницаемостью и высокими механическими свойствами, негорючестью. Однако фторкаучук имеет низкую морозостойкость.

По комплексу свойств фторкаучук не имеет себе равных среди известных эластомеров. Особенно они ценны в авиации. Каучук и резину используют для изготовления шлангов, уплотнителей, для облицовки баков и камер для топлива, при изготовлении красок и т.п.

В современном машиностроении применяют большое количество резиновых изделий, при чем в основном для:

- 1) оснащения движущихся устройств (приводные рамки, транспортные ленты);
- 2) подачи воды, жидкого топлива, кислот, масла, пара и воздуха (рукава напорные и всасывающие);
- 3) амортизации (резиновые подвески, опоры, подшипники);
- 4) уплотнения неподвижных и подвижных контактов (сальники, манжеты, мембраны);
- 5) электроизоляции (детали слаботочной и высокочастотной аппаратуры, изолента);
- 6) защиты химической аппаратуры, изготовления воздухо- и водоплавающих средств, строительных конструкций.

При изготовлении резиновых технических изделий используют резины, текстиль и металлургическую арматуру.

1.5. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Вспомогательный материал - это специально подобранный состав технологического назначения, состоящий из одного или множества химических ингредиентов. Вспомогательные материалы не что-то второстепенное и случайное, а составы, без которых процесс обработки затруднен или просто невозможен. Качество

вспомогательных материалов, включающих большую гамму технических моющих средств (ТМС), пропиточных составов (ПС), абразивно-доводочных (АДС) и абразивно-полировальных (АПС) смесей (рис.1.4), смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), предпокрасочных грунтов (ПКГ), литейно-формовочных смесей (ЛФС), сварочных флюсов (СФ) и других материалов технологического назначения следует считать таким же важным вопросом технологии машиностроения и ремонта, как собственно и качество основного конструкционного материала (рис.1.5).

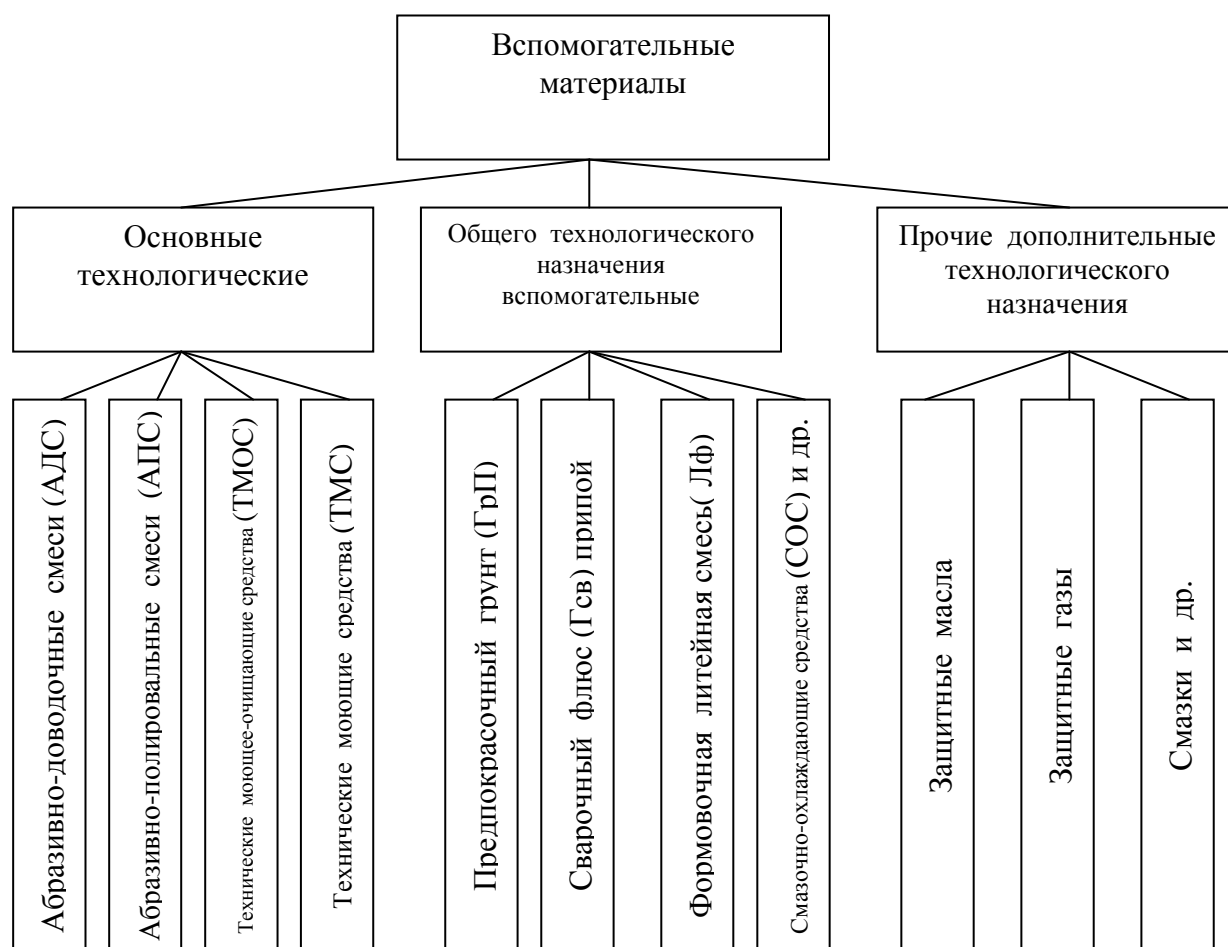


Рис.1.4 – Классификация технологических материалов машиностроительного и ремонтных производств.

Вспомогательный материал любого технологического назначения будем рассматривать как функционирование некоторой системы в форме сложных комбинаций химически- и поверхностноактивных и др. веществ. Это значит, что качества, например, абразивно-доводочных и полировальных смесей (рис.1.5), моюще-очищающих составов для технических целей, электролитов, формовочных смесей, сварных грунтов, смазочно-охлаждающих жидкостей расценивается как последовательная смена состояния системы во времени. Смена состояний вообще может иметь место не только в ходе эксплуатации вспомогательного материала, но и в бездействующей системе при хранении и транспортировке. Каждому фиксированному моменту времени соответствует мгновенное состояние системы, которое фактически отражает выходные показатели материала любого вспомогательного назначения.

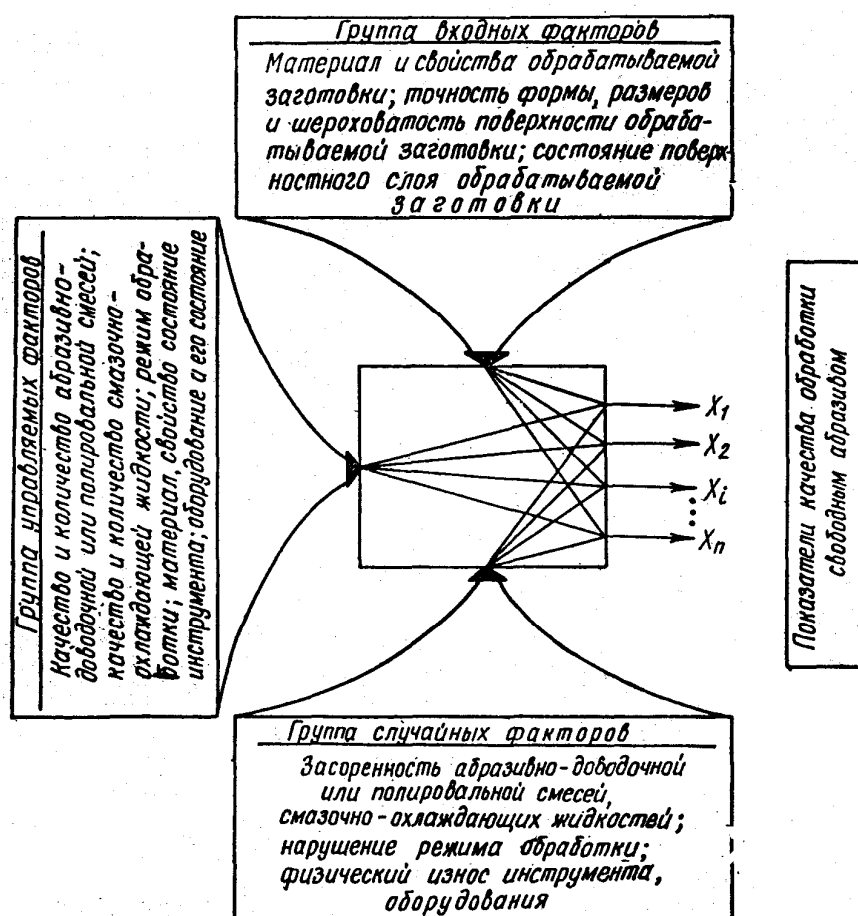


Рис.1.5 - Формализованная модель основных факторов, определяющих качество обработки «свободным» абразивным зерном.

Любой вспомогательный материал при комплексной оценке качества характеризуется не только технической или санитарно-гигиенической характеристиками. В некотором смысле, указанные выше характеристики системы являются сигналами, так или иначе преобразовываемые системой. Технические же характеристики, как известно, являются основополагающими. Характеризуются ее параметрами, а величины, определяющие первоначальное его состояние, называются исходными. Так для каждого вспомогательного материала всегда имеется какое-то исходное состояние. Химические ингредиенты, входящие в состав в подавляющем большинстве не инертны, что в какой-то степени отражается не только на сроках годности, но и самом качестве вспомогательного материала. Количество и качество химических ингредиентов, объединенных в систему, составляет рецептуру вспомогательного материала. Ясно, что задачей проектировщика рецептуры вспомогательного материала является выбор рецептуры определенным образом связанной совокупности химических ингредиентов и их норм в системе. Кроме того, характеристиками системы технического материала являются те критерии, которыми оценивается система. Эти критерии не являются сигналами в функционирующей системе, но их следует знать и уметь определять с тем, чтобы отдать предпочтение тому или иному, исходя из особенностей технологии производства и ремонта оборудования и машин.

Если рассматривать материал (рис.1.6) как последовательную смену состояний состава во времени, то величины $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ оказываются функциями времени $a_1(t), a_2(t), a_3(t), \dots, a_n(t)$. Эти функции характеризуют качество вспомогательного материала в любое время. В классической теории регулирования для одномерной системы может служить, например, выходной технический показатель. Для вспомогательного же материала, характеризующегося многими техническими, экономическими, санитарно-гигиеническими, психологическими и др. свойствами.

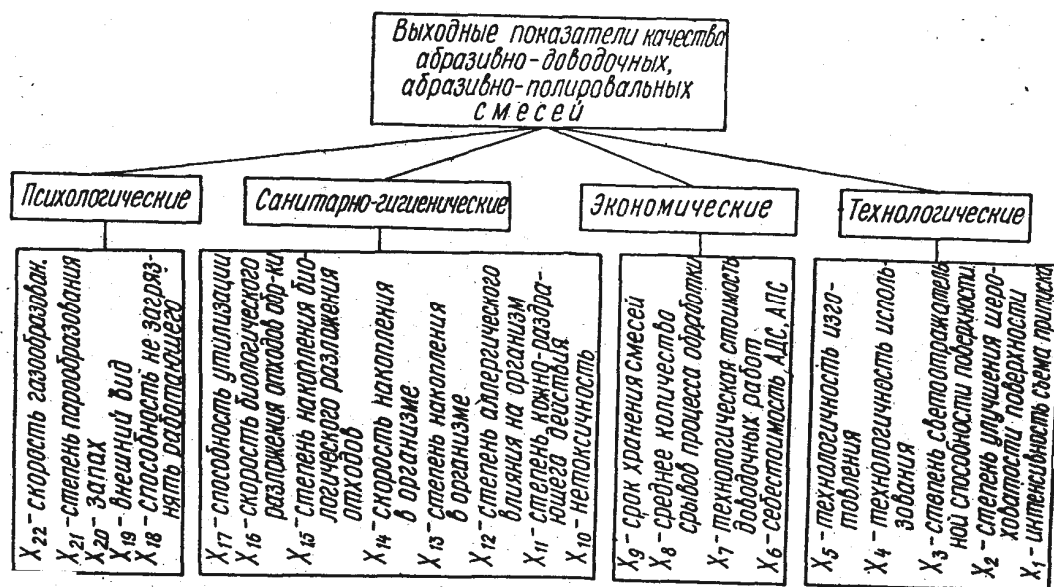


Рис.1.6 – Основные критерии оценки качества абразивно-доводочных и полированных смесей

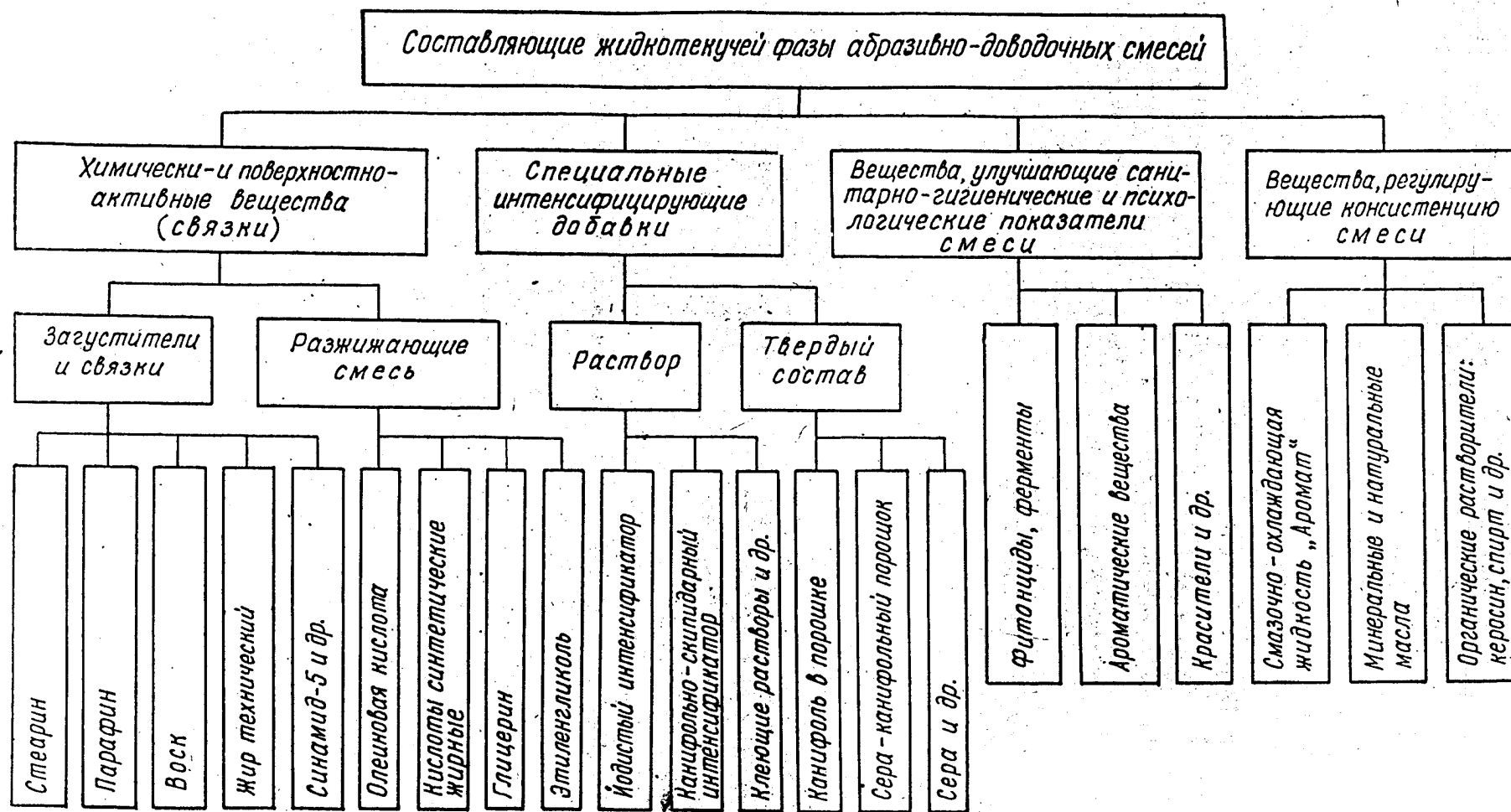


Рис.1.7 - Классификация неабразивных составляющих абразивно-доводочных и абразивно-полировальных смесей

Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируются материалы, используемые в ремонтно-эксплуатационной практике энергетики?
2. Какова роль металлических материалов при создании и эксплуатации газового оборудования и энергосистем?
3. Назовите основные полимерные материалы. Охарактеризуйте их свойства и места применения.
4. Какие факторы способствуют широкому применению пластмасс и резин в ремонтно-эксплуатационной практике газовой промышленности и энергетике?
5. Особенности использования вспомогательных материалов в газэнергетике?
6. Какую роль играют основные вспомогательные материалы при производстве и ремонте машин, приборов?
7. почему выбору вспомогательного материала следует уделять должное внимание?
8. Назначение дополнительных материалов. Их роль при производстве и ремонте систем энергоснабжения, машин, приборов.

2. СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

2.1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

В зависимости от назначения изготавливаемых изделий металлы и сплавы должны обладать определенными свойствами.

Эти свойства разделяются на следующие группы: физические, механические, химические и технологические. Если две первых группы фактически связаны с конструктивными особенностями при создании любого изделия, то две других более приближены к способам производства и их эксплуатации.

К физическим свойствам металлов и сплавов относятся: плотность, температура плавления, теплопроводность, тепловое расширение, удельная теплоемкость, электропроводность и способность намагничивания.

Плотность — это количество вещества, содержащееся в единице объема.

Численное значение плотности почти совпадает с удельным весом.

Температура плавления - это температура, при которой металл полностью переходит из твердого состояния в жидкое. Каждый металл имеет свою определенную температуру плавления.

Теплопроводность - это способность тел передавать с той или иной скоростью тепло при нагревании и охлаждении. Чем лучше металл проводит тепло, тем быстрее и равномернее он нагревается и отдает тепло при охлаждении.

Тепловое расширение. Вещество, как правило, расширяется при нагревании и сжимается при охлаждении. Изменение одного размера при нагреве называют линейным расширением; изменение объема тела называют объемным расширением.

Удельная теплоемкость - это количество тепла, которое необходимо для повышения температуры 1г вещества на 1°C.

Электропроводность - это способность металлов проводить электрический ток.

Магнитные свойства - это способность металла создавать собственное магнитное поле либо самостоятельно, либо под действием внешнего магнитного поля.

Знание только физических свойств не дает возможности судить о поведении металлов под действием усилий, которым они подвергаются при обработке или эксплуатации. Необходимо знать механические свойства, то есть способность металла сопротивляться деформации и разрушению при воздействии на него внешних сил, которые принято называть *нагрузками*.

Статистической нагрузкой называют нагрузку, возрастающую медленно от нуля до некоторого максимального значения и далее остающуюся постоянной.

Динамической нагрузкой называют нагрузку, возникающую в результате удара, когда действие нагрузки исчисляется малыми долями секунды.

Внешние нагрузки, действующие на элементы конструкций и машин, распределены в той или иной мере по некоторой площади или объему.

Вследствие этого распределенные нагрузки могут быть поверхностными (например, давление воды или пара на стенку трубы) и объемными (например, силы тяжести, инерции, магнитного притяжения). Однако для упрощения расчетов распределенную нагрузку можно заменить равнодействующей сосредоточенной нагрузкой.

В зависимости от изменения во времени нагрузки подразделяются на статические и динамические. Статические нагрузки, а следовательно и статическое нагружение, характеризуются малой скоростью изменения своей величины. А динамические нагрузки изменяются во времени с большими скоростями, например, при ударном нагружении.

В зависимости от характера действия нагрузки подразделяют на *растягивающие* (рис.2.1, а), *сжимающие* (рис.2.1, б), *изгибающие* (рис. 2.1, в), *скручивающие* (рис.2.1, г), *срезающие* (рис.2.1, д).

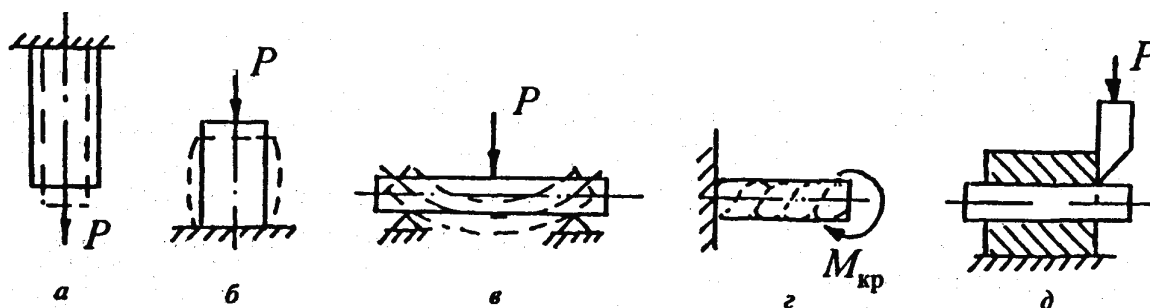


Рис.2.1 – Основные виды нагружения:
а – растяжением, б – сжатием; в – изгибом; г – кручением; д – срезом

Изменение формы твердого тела под действием приложенных к нему внешних сил называется деформацией.

Сжатие - это деформация, характеризующаяся уменьшением объема тела под действием сдвливающих его сил.

Растяжение - это деформация, характеризующаяся увеличением длины тела, когда к обоим его концам приложены силы, равнодействующие которых направлены вдоль оси тела.

Кручение - это деформация тела с одним закрепленном концом под действием пары сил, плоскость которых перпендикулярна к оси тела.

Сдвиг (срез). Если две силы направлены друг к другу навстречу, а направление сил, действующих на тело, лежит не на одной прямой, но близко друг к другу, то при достаточной величине сил проходит *срез*.

Деформация, предшествующая срезу и заключающаяся в перекашивании прямых углов элементарных параллелепипедов называется *сдвигом*.

Изгиб - это деформация тела под действием внешних сил, сопровождающаяся изменением кривизны деформируемого тела.

Под прочностью металла или сплава понимают его свойство сопротивляться разрушению под действием внешних сил. В зависимости от характера действия этих сил различают прочность на растяжение, сжатие, изгиб, кручение, усталость и др.

Пластичностью называют способность металла не разрушаться, изменять форму под действием нагрузки и сохранять измененную форму после того, как нагрузка будет снята. Изменение нагрузки может иметь периодически повторяющийся характер, вследствие чего их называют *повторно-переменными* или *циклическими* (рис.2.2). В разнообразных условиях эксплуатации конструкций и машин воздействие перечисленных нагрузок может проявляться в различных их сочетаниях.

Под воздействием внешних нагрузок, а также структурно-фазовых превращений, в материале конструкции возникают внутренние силы, которые могут быть выражены через внешние нагрузки. Внутренние силы, приходящиеся на единицу площади поперечного сечения тела, называют *напряжениями*. Введение понятия напряжений позволяет проводить расчеты на прочность конструкций и их элементов.

В простейшем случае осевого растяжения цилиндрического стержня (рис.2.3, а) напряжение σ в поперечном сечении легко определить как отношение растягивающей силы P к площади поперечного сечения F_0 , т.е. $\sigma = P / F_0$.

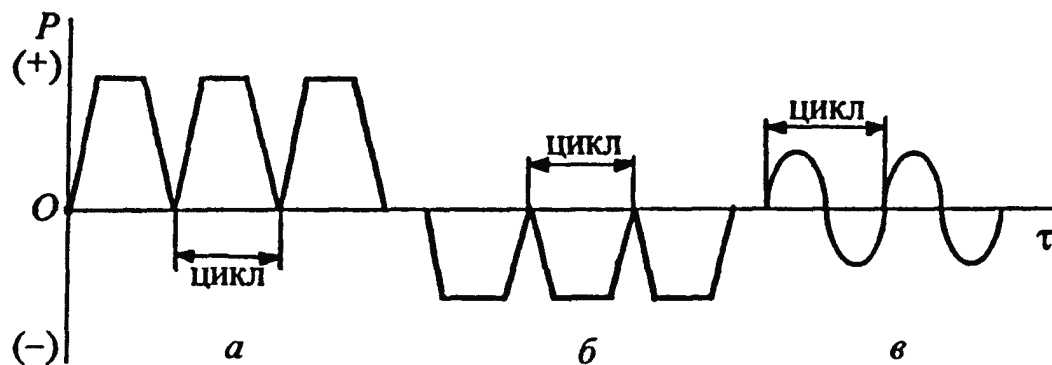


Рис.2.2 – Схема циклического напряжения:
а — растяжением; б — сжатием; в — знакопеременным нагружением

В общем случае, когда сила P не перпендикулярна плоскости рассматриваемого сечения F_1 полное напряжение σ_1 можно разложить на две составляющие: нормальное напряжение σ_n , направленное перпендикулярно данной плоскости, и касательное τ , направленное вдоль этой плоскости (рис.2.3, б). На рис. 2.3, б наклонная плоскость F_1 расположена под углом α к плоскости поперечного сечения стержня. Площадь наклонного сечения равна $F_1 = F_0 / \cos \alpha$. В плоскости этого сечения действует общее напряжение $\sigma_1 = P / F_1 = \sigma \cos \alpha$. Разлагая это напряжение по правилу параллелограмма на составляющие, получаем, что нормальное напряжение $\sigma_n = \sigma \cos^2 \alpha$, а касательное напряжение $\tau = \sigma \cos \alpha \sin \alpha = 0,5 \sigma \sin 2\alpha$. Отсюда следует, что максимальное нормальное напряжение возникает при $\alpha = 0^\circ$ и равно σ (рис.2.3, а), а максимальное касательное напряжение возникает при $\alpha = 45^\circ$ и равно $\sigma/2$.

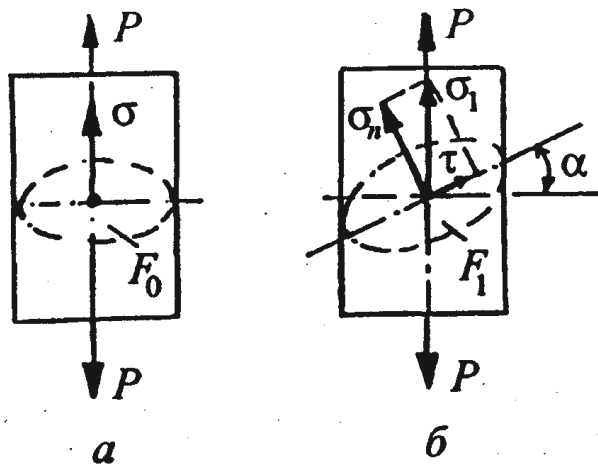


Рис. 2.3 - Схема нормальных и касательных напряжений:
а – сила P , перпендикулярная плоскости сечения (F_0); б – сила P , не перпендикулярная плоскости сечения (F_1)

После снятия внешней нагрузки в теле могут оставаться внутренние напряжения. Причиной возникновения внутренних напряжений могут быть также резкие перепады температур и структурно-фазовые превращения, происходящие в процессе технологической обработки материалов. Существует следующая классификация внутренних напряжений:

- внутренние напряжения первого рода — напряжения, возникающие между крупными частями тела (макроскопические напряжения);
- внутренние напряжения второго рода — напряжения, возникающие между смежными зёрнами или внутри зёрен (микроскопические напряжения);
- внутренние напряжения третьего рода — напряжения, возникающие внутри объема, охватывающего несколько ячеек кристаллической решетки (субмикроскопические напряжения).

Действие внешних сил приводит к *деформации* тела, т.е. к изменению его размеров и формы. Если на поверхности тела вблизи рассматриваемой точки A нанести прямоугольник со сторонами l и h (рис.2.4, a), то после деформации этот прямоугольник может изменить свои размеры и форму (рис.2.4, $б$). Стороны прямоугольника могут увеличиться на Δl , уменьшиться на Δh или повернуться на угол $\gamma = \alpha + \beta$ по отношению к первоначальному прямому углу между сторонами. Деформация, характеризующая изменение линейных размеров, называется линейной, а деформация, характеризующая изменение углов, — угловой или деформацией сдвига. Линейная или угловая деформация, исчезающая после разгрузки, называется *упругой*, а остающаяся в теле — *пластической (остаточной)*.

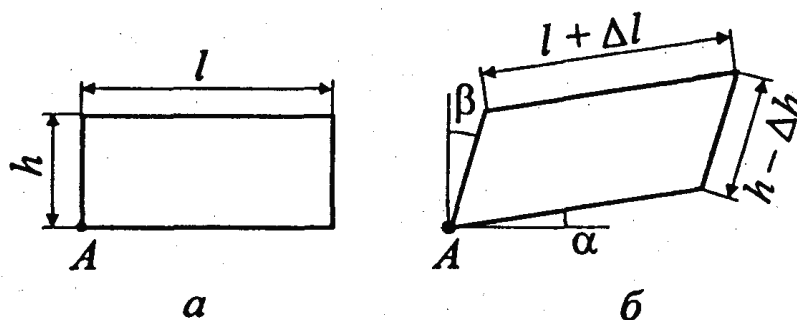


Рис. 2.4 - Схема линейной и угловой деформации:
 a — исходное состояние; $б$ - состояние после деформации

В процессе упругой деформации атомы в кристаллической решетке незначительно смещаются друг относительно друга. Чем больше изменяются расстояния между атомами, тем больше становятся силы межатомного взаимодействия. При снятии внешней нагрузки под действием этих сил атомы возвращаются в исходное положение, искажения решетки исчезают, а тело принимает первоначальные форму и размеры.

В процессе пластической деформации атомы в кристаллической решетке смещаются на большие расстояния, чем при упругой деформации, причем это смещение становится необратимым. После снятия нагрузки в результате пластической деформации размеры и форма тела изменяются. Смещение атомов при пластической деформации может происходить скольжением (сдвигом) и двойникованием. Скольжение происходит по плоскостям и в направлении с наиболее плотной упаковкой атомов, где расстояния между соседними атомными плоскостями наибольшие, а силы взаимодействия между ними наименьшие, в результате чего со-

противление сдвигу также будет наименьшим. При двойниковании происходит такое смещение части зерна, при котором эта часть занимает зеркально-симметричное положение по отношению к несмещенной части зерна.

Ударной вязкостью называется способность металлов и сплавов оказывать сопротивление действию ударных нагрузок. Вязкость - свойство, противоположное хрупкости.

Твердостью называется свойство металла оказывать сопротивление проникновению в него другого, более твердого тела, не получающего остаточных деформаций.

Усталостью металлов называют явление разрушения при многократном нагружении. Повреждение нагрузок значительно уменьшает прочность металла. Поэтому в технике для характеристики усталости принято понятие *выносливости*.

Упругопластическая деформация при достижении достаточно высоких напряжений может завершиться *разрушением* тела. Процесс разрушения состоит из нескольких стадий: зарождение микротрещин, образование макротрещин, распространение макротрещины по всему сечению тела.

В общем случае различают *вязкое и хрупкое* разрушения. Вязкое разрушение происходит срезом под действием касательных напряжений и сопровождается значительной пластической деформацией. Для вязкого разрушения характерен волокнистый (матовый) излом детали или образца. Хрупкое разрушение происходит под действием нормальных растягивающих напряжений, вызывающих отрыв одной части тела от другой без заметных следов макропластической деформации. Для хрупкого разрушения характерен кристаллический (блестящий) излом.

Возникновение микротрещин при вязком и хрупком разрушениях происходит путем скопления дислокаций перед границами зерен (рис.2.5) или другими препятствиями (неметаллические включения, карбидные частицы, межфазовые границы и др.), что приводит к концентрации напряжений. При анализе микроструктуры различают транскристаллитное (по телу зерна) и интеркристаллитное (по границам зерен) разрушения. Разрушение металла в условиях эксплуатации конструкций и машин может быть не только вязким или хрупким, но и смешанным – вязкохрупким.

Химические свойства - это свойство металлов и металлических сплавов, определяющее отношение к химическим воздействиям активных различных сред. Каждый металл или сплав обладает определенной способностью воздействию этих сред.

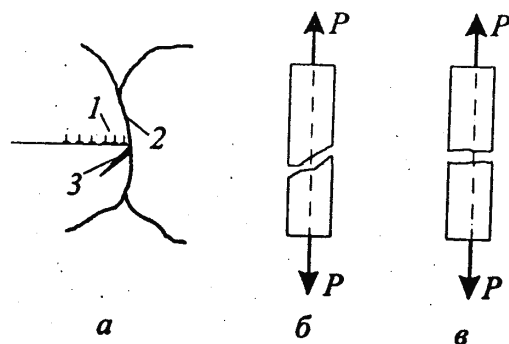


Рис.2.5 – Схемы накопления дислокаций у границы зерна с образованием микротрещины (а), разрушения срезом (б) и отрывом (в): 1 – скопление дислокаций; 2 – граница зерна; 3 – микротрещина.

Химические воздействия среды проявляются в различных формах: под влиянием химического воздействия кислорода, воздуха и влаги металлы подвергаются коррозии - чугун ржавеет, бронза покрывается зеленым слоем окиси, сталь при нагреве в закалочных печах без защитной атмосферы окисляется, превращается в окалину, а в серной кислоте растворяется. Поэтому для практического использования металлов и сплавов необходимо знать их химические свойства.

Металлы и сплавы, стойкие против окисления при сильном нагреве, называются жаростойкими или окалиностойкими. Такие металлы применяются для изготовления различных деталей топок, труб паровых котлов, сильно нагреваемых деталей турбин, компрессоров.

Технологические свойства. При выборе металлов и сплавов для изготовления деталей, машин и конструкций большое значение имеют технологические свойства, под которыми понимают способность металла подвергаться различным видам обработки.

Обработываемость - комплексное свойство материала, в частности металла, характеризующее способность его подвергаться обработке резанием. Обычно обрабатываемость определяется по скорости резания, по усилию резания и по чистоте поверхности.

В результате механических испытаний материалов определяют следующие характеристики: упругость, пластичность, прочность, твердость, вязкость, усталость, трещиностойкость, хладостойкость, жаропрочность.

2.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

При растяжении определяют следующие показатели прочности и пластичности материалов.

Показатели прочности материалов характеризуются удельной величиной — напряжением, равным отношению нагрузки в характерных точках диаграммы растяжения к площади поперечного сечения образца. Дадим определение наиболее часто используемым показателям прочности материалов.

Предел текучести (физический) (σ_T , МПа) — это наименьшее напряжение, при котором материал деформируется (течет) без заметного изменения нагрузки:

$$\sigma_T = P_T / F_0,$$

где P_T — нагрузка, соответствующая площадке текучести на диаграмме растяжения.

Если на машинной диаграмме растяжения нет площадки текучести, то задаются допуском на остаточную деформацию образца и определяют условный предел текучести.

Условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$, МПа) — это напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2% от начальной расчетной длины образца:

$$\sigma_B = P_{\max} / F_0,$$

где $P_{0,2}$ — нагрузка, соответствующая остаточному удлинению $\Delta l_{0,2} = 0,002l_0$.

Временное сопротивление (предел прочности) (σ_B , МПа) — это напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке P_{\max} , предшествующей разрыву образца:

$$\sigma_B = P_{\max} / F_0.$$

Наряду с модулем нормальной упругости E существует *модуль сдвига* (модуль касательной упругости) G , который связывает пропорциональной зависимостью касательное напряжение τ с углом сдвига (относительным сдвигом) γ :

$$\tau = G\gamma.$$

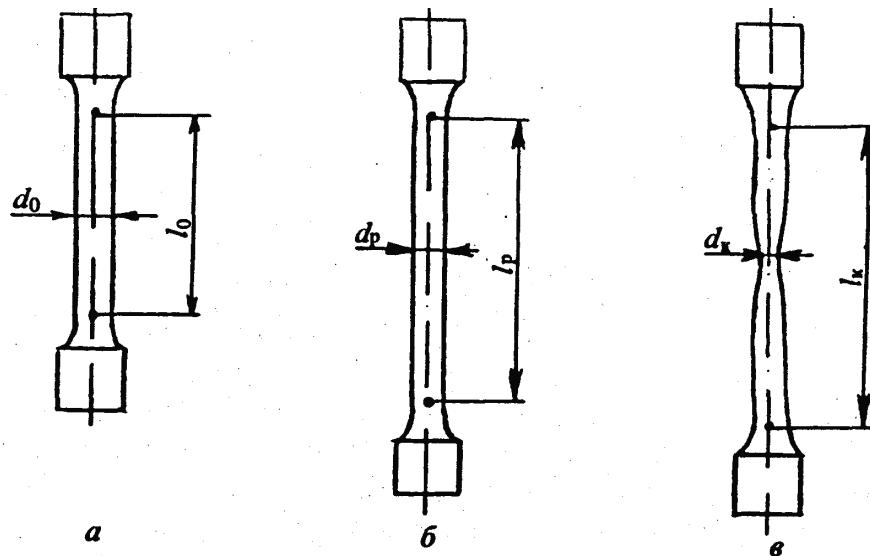


Рис. 2.6 - Схемы цилиндрического образца на различных стадиях растяжения:
 а — образец до испытания (l_0 и d_0 — начальные расчетные длина и диаметр); б —
 образец, растянутый до максимальной нагрузки (l_p и d_p — расчетные длина и диаметр
 образца в области равномерной деформации); в — образец после разрыва (l_k — конечная
 расчетная длина; d_k — минимальный диаметр в месте разрыва)

Еще одним важным параметром упругих свойств материалов является *коэффициент Пуассона* μ , равный отношению относительной поперечной деформации ($\Delta d / d_0$) к относительной продольной деформации ($\Delta l / l_0$). Этот коэффициент характеризует стремление материала сохранять в процессе упругой деформации свой первоначальный объем.

От коэффициента Пуассона μ , зависит соотношение между E и G :

$$E / G = 2(1 + \mu). \quad (2.1)$$

Как следует из уравнения (2.1), E больше G , так как для смещения атомов отрывом требуется большее усилие, чем сдвигом.

Значения модуля нормальной упругости E , модуля сдвига G и коэффициента Пуассона μ для некоторых материалов приведены в табл. 2.1.

Чем выше E , тем материал жестче и тем меньшую упругую деформацию вызывает одна и та же нагрузка. Закон Гука чаще представляют в следующем виде:

$$\sigma = E\delta,$$

где $\sigma = P / F_0$ — нормальное напряжение; $\delta = \Delta l / l_0$ — относительная упругая деформация.

Таблица 2.1 - Значения модуля нормальной упругости E , модуля сдвига G и коэффициента Пуассона μ для некоторых материалов

Материал	E , МПа	G , МПа	μ
Сталь 20	210000	82031	0,28
Медь листовая	113000	42164	0,34
Латунь	97000	34155	0,42
Цинк	82000	32283	0,27
Алюминий	68000	25564	0,33
Свинец	17000	5862	0,45

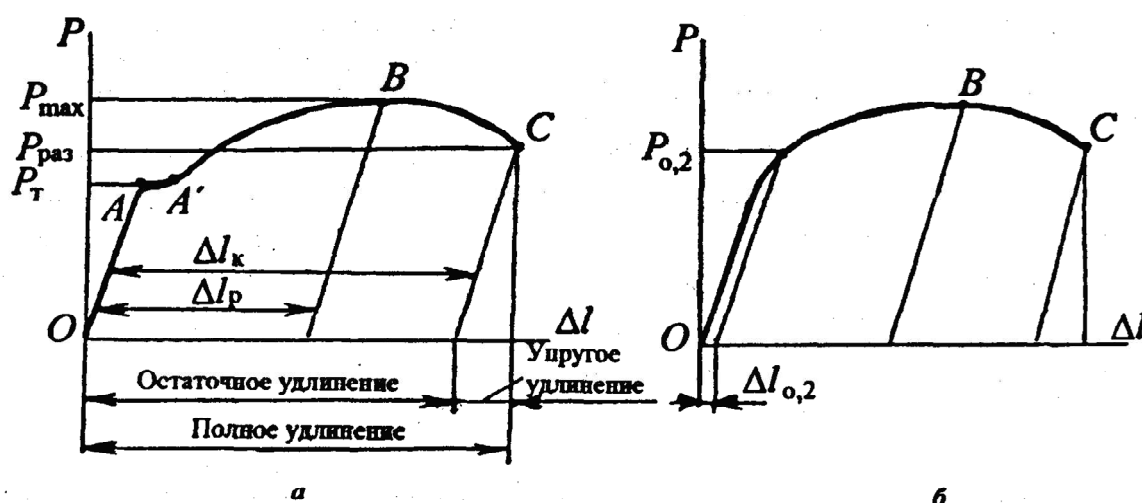


Рис.2.7 – Схема машинных (первичных) диаграмм растяжения пластичных материалов:

a – с площадкой текучести; b – без площадки текучести

Истинное сопротивление разрыву (S_k , МПа) — это напряжение, определяемое отношением нагрузки P_k в момент разрыва к площади поперечного сечения образца в месте разрыва F_k :

$$S_k = P_k / F_k,$$

$$\text{где } F_k = \pi d_k^2 / 4.$$

Показатели пластичности. Пластичность — одно из важных механических свойств металла, которое в сочетании с высокой прочностью делает его основным конструкционным материалом. Дадим определение наиболее часто используемым показателям пластичности материалов.

Предельное равномерное удлинение (δ_p , %) - это наибольшее удлинение, до которого образец деформируется равномерно по всей его расчетной длине, или, другими словами, это отношение абсолютного приращения расчетной длины образца Δl_p до нагрузки P_{\max} к ее первоначальной длине (см. рис.2.7, а):

$$\delta_p = (\Delta l / l_0) 100 = [(l_p - l) / l_0] 100.$$

Аналогично предельному равномерному удлинению существует *предельное равномерное сужение* (ψ_p , %):

$$\psi_p = (\Delta F_p / F_0) 100 = [(F_0 - F_p) / F_0] 100,$$

где $F_p = \pi d_p^2 / 4$ — площадь поперечного сечения образца, соответствующая P_{\max} . Из условия постоянства объема образца при растяжении можно получить

$$\psi_p = \delta_p / (1 + \delta_p).$$

При разрушении образца на две части определяют конечные показатели пластичности: относительное удлинение и относительное сужение образца после разрыва.

Относительное удлинение после разрыва (δ , %) — это отношение приращения расчетной длины образца после разрыва Δl_k к ее первоначальной длине:

$$\delta = (\Delta l_k / l_0) 100 = [(l_k - l_0) / l_0] 100.$$

Относительное удлинение после разрыва зависит от соотношения l_0 и F_0 , т.е. от кратности образцов. Чем меньше отношение $l_0 / \sqrt{F_0}$ и кратность образца, тем больше δ . Это объясняется влиянием шейки образца, где имеет место сосредоточенное удлинение. Поэтому индекс у δ указывает на кратность образца, например $\delta_{2,5}, \delta_5, \delta_{10}$.

Относительное сужение после разрыва (ψ , %)- — это отношение уменьшения площади поперечного сечения образца в месте разрыва ΔF_k к начальной площади поперечного сечения:

$$\psi = (\Delta F_k / F_0) 100 = [(F_0 - F_k) / F_0] 100.$$

В отличие от конечного относительного удлинения конечное относительное сужение не зависит от соотношения l_0 и F_0 (кратности образца), так как в последнем случае деформацию оценивают в одном, наиболее узком, сечении образца.

Таблица 2.2 - Значения механических свойств некоторых марок стали, определенные растяжением пятикратных цилиндрических образцов

Марка стали	$\sigma_{\tau} (\sigma_{0,2}),$ МПа	$\sigma_{\text{в}},$ МПа	$\delta_p, \%$	$S_k, \text{ МПа}$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$
20	271	430	21	867	33	67
45	390	668	15	1115	25	49
15ГС	334	547	18	1130	33	71
15Х1М1Ф	313	531	15	1117	29	78
35ХВФЮА	759	1038	9	1686	16	51
12Х18Н10Т	277	694	30	1670	60	69

2.3. ИСПЫТАНИЯ НА ТВЕРДОСТЬ

Твердость — это свойство металла оказывать сопротивление контактной деформации или хрупкому разрушению при внедрении индентора (под индентором понимается твердосплавный наконечник, внедряемый в металл) в его поверхность. Испытания на твердость — самый доступный и распространенный вид механических испытаний. Наибольшее применение в технике получили статические методы испытания на твердость при вдавливании индентора: метод Бринелля, метод Виккерса и метод Роквелла.

При испытании на твердость по методу Бринелля (ГОСТ 9012—59) в поверхность материала вдавливается твердосплавный шарик диаметром D под действием нагрузки P и после снятия нагрузки измеряется диаметр отпечатка d (рис. 2.8, а). Число твердости по Бринеллю (НВ) подсчитывается как отношение нагрузки P к площади поверхности сферического отпечатка M :

$$HB = \frac{P}{M} = \frac{2P}{\pi D^2 \left[1 - \sqrt{1 - (d/D)^2} \right]}. \quad (2.2)$$

Для получения сопоставимых результатов при определении твердости НВ шариками различного диаметра необходимо соблюдать условие подобия. Подобие отпечатков при разных D и P будет обеспечено, если угол φ остается постоянным (рис.2.8, а). Подставив в формулу (2.2) $\frac{d}{D} = \sin \frac{\varphi}{2}$, получим следующее выражение:

$$HB = \frac{P}{D^2} \left[\frac{2}{\pi \left[1 - \sqrt{1 - \sin^2 \frac{\varphi}{2}} \right]} \right]. \quad (2.3)$$

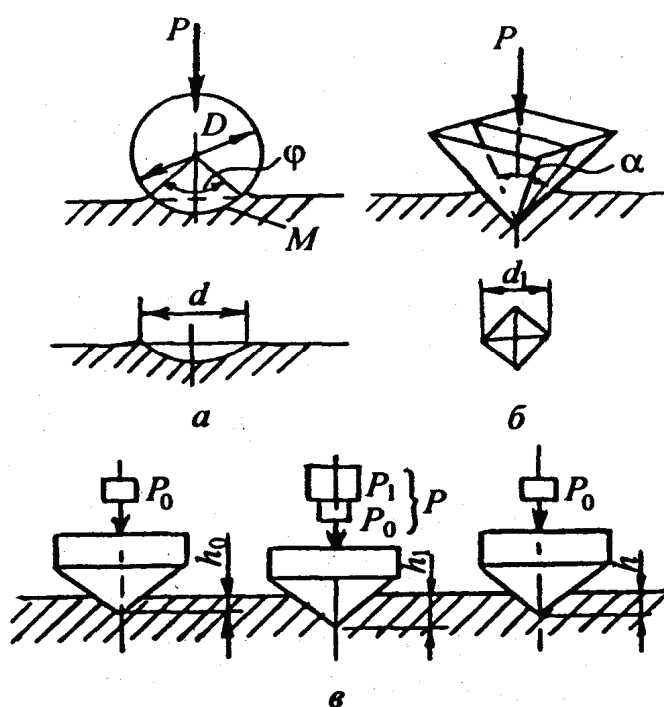


Рис.2.8 - Схемы испытаний на твердость:
а - по Бринеллю; б - по Виккерсу, в - по Роквеллу

Из формулы (2.3) следует, что значение НВ будет оставаться постоянным, если $P/D^2 = const$ и $\varphi = const$. Выбор отношения P/D^2 , а следовательно и нагрузки вдавливания P , зависит от уровня твердости материала. Чем более твердый материал, тем рекомендуется большее отношение P/D^2 . Исходя из этого, в ГОСТ 9012—59 приведены следующие значения отношений P/D^2 (МПа): 294 (сталь, чугун, высокопрочные сплавы); 98 (алюминий, медь, никель и их сплавы); 49 (магний и его сплавы); 24,5 (подшипниковые сплавы); 9,8 (олово, свинец). При $D = 10$ мм,

$P = 29400\text{Н}$ ($P/D^2 = 294 \text{ МПа}$) и времени выдержки под нагрузкой 10с твердость по Бринеллю обозначается символом HB с указанием числа твердости. При этом размерность (кгс/мм^2) не ставится, например 200HB. При использовании шариков других диаметров (1,2, 2,5 и 5 мм) изменяется нагрузка вдавливания, а символ твердости HB дополняется тремя индексами. Например, 180HB_{2,5/187,5/30} обозначает, что при $D = 2,5\text{мм}$, $P = 1839\text{Н}$ (187,5кгс) и времени выдержки под нагрузкой 30с число твердости по Бринеллю равно 180.

Метод Бринелля не рекомендуется применять для материалов с твердостью более 450HB, так как стальной шарик может заметно деформироваться, что внесет погрешность в результаты испытаний.

При испытании на твердость по *методу Виккерса* (ГОСТ2999—75) в поверхность материала вдавливается алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине $\alpha = 136^\circ$ (рис. 2.8, б). После снятия нагрузки вдавливания измеряется диагональ отпечатка d_1 . Число твердости по Виккерсу HV подсчитывается как отношение нагрузки P к площади поверхности пирамидального отпечатка M :

$$HV = \frac{P}{M} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d_1^2} = 1,854 \frac{P}{d_1^2}.$$

Число твердости по Виккерсу обозначается символом HV с указанием нагрузки P и времени выдержки под нагрузкой, причем размерность числа твердости (кгс/мм^2) не ставится. Продолжительность выдержки индентора под нагрузкой принимают для сталей 10—15с, а для цветных металлов — 30с. Например, 450 HV_{10/15} означает, что число твердости по Виккерсу 450 получено при $P = 10\text{кгс}$ (98,1Н), приложенной к алмазной пирамиде в течение 15с.

Преимущество метода Виккерса по сравнению с методом Бринелля заключается в том, что методом Виккерса можно испытывать материалы более высокой твердости из-за применения алмазной пирамиды.

При испытании на твердость по *методу Роквелла* (ГОСТ 9013—59) в поверхность материала вдавливается алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной шарик диаметром 1,588мм. Однако, согласно этому методу, за условную меру твердости принимается глубина отпечатка. Схема испытания по методу Роквелла показана на рис.2.8, в. Вначале прикладывается предварительная нагрузка P_0 , под действием которой индентор вдавливаются на глубину h_0 . Затем прикладывается основная нагрузка P_1 , под действием которой индентор вдавливаются на глубину h_1 . После этого снимают нагрузку P_1 , но оставляют предварительную нагрузку P_0 . При этом под действием упругой деформации индентор поднимается вверх, но

не достигает уровня h_0 . Разность $(h - h_0)$ зависит от твердости материала; чем тверже материал, тем меньше эта разность. Глубина отпечатка измеряется индикатором часового типа с ценой деления 0,002мм. При испытании мягких металлов методом Роквелла в качестве индентора применяется стальной шарик. Последовательность операций такая же, как и при испытании алмазным конусом. Число твердости, определенное методом Роквелла, обозначается символом HR. Однако в зависимости от формы индентора и значений нагрузок вдавливания к этому символу добавляется буква А, или С, или В, обозначающая соответствующую шкалу измерений. Обозначения твердости и значения нагрузок вдавливания для разных шкал измерений методом Роквелла приведены ниже:

Шкала Индентор	А Алмазный конус HRA	В Алмазный конус HRC	С Стальной шарик HRB
Обозначение твердости			
Нагрузки вдавливания, кгс(Н):			
P_0	10(98,1)	10(98,1)	10(98,1)
P_1	50(490,5)	140(1373,4)	90(882,9)
P_2	60(588,6)	150(1471,5)	100(981)

Различие в нагрузке P_1 , для шкал А и С объясняется тем, что по шкале А измеряют твердость особо твердых материалов и в этом случае во избежание повреждений алмазного конуса рекомендуется меньшая нагрузка вдавливания.

Числа твердости по Роквеллу подсчитывают по формулам

$$HRA(HRC) = 100 - [(h - h_0) / 0,002];$$

$$HRB = 130 - [(h - h_0) / 0,002],$$

где 100 и 130 — предельно заданное число делений индикатора часового типа с ценой деления 0,002мм.

Например, 50HRC означает, что твердость, определенная методом Роквелла по шкале С при вдавливании алмазного конуса, равна 50 (размерность не ставится).

Преимущество метода Роквелла по сравнению с методами Бринелля и Виккерса заключается в том, что значение твердости по методу Роквелла фиксируется непосредственно стрелкой индикатора, при этом отпадает необходимость в оптическом измерении размеров отпечатка.

Для измерения твердости тонких слоев материалов и даже их отдельных структурных составляющих применяют метод микротвердости (ГОСТ 9450 — 76). Этот метод по существу не отличается от метода Виккерса, однако при этом используют малые нагрузки вдавливания: 0,049 (0,005), 0,098 (0,01), 0,196 (0,02), 0,49 (0,05), 0,98 (0,1), 1,962 (0,2), 4,9 (0,5) Н (кгс).

2.4. ИСПЫТАНИЯ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ

Трещиностойкостью называют свойство материалов сопротивляться развитию трещин при механических и других воздействиях. Трещины в материалах могут быть металлургического и технологического происхождения, а также возникать и развиваться в процессе эксплуатации. В случае возможности хрупкого разрушения для безопасной работы элементов конструкции и машин необходимо количественно оценивать размеры допустимых трещиноподобных дефектов. Для оценки размера допустимого дефекта необходимо знать количественную характеристику трещиностойкости материала.

Количественной характеристикой трещиностойкости материала является *критический коэффициент интенсивности напряжений в условиях плоской деформации* в вершине трещины K_{Ic} . Под плоской деформацией понимают деформацию, которая развивается в одной плоскости и запрещена по толщине образца. На практике K_{Ic} используют для определения связи между разрушающими напряжениями и размерами дефектов в элементе конструкции. Определяют K_{Ic} путем испытания специальных образцов с предварительно выращенной усталостной трещиной (ГОСТ 25506—85). На рис.2.9 изображена схема компактного образца с надрезом и выращенной усталостной трещиной для определения K_{Ic} . Образец подвергается внецентренному растяжению (рис.2.10, а) с автоматической регистрацией диаграммы нагрузки (P) — раскрытие берегов надреза образца (V) (рис. 2.10, б). При обработке диаграммы из начала координат проводят секущую, тангенс угла наклона которой на 5% меньше тангенса угла наклона начального прямолинейного участка диаграммы. Определяют нагрузку P_Q (рис.2.10, б), затем по излому разрушенного образца оценивают длину трещины l . По полученным значениям P_Q и l рассчитывают коэффициент интенсивности напряжений K_Q (МПа $\sqrt{л}$):

$$K_Q = \frac{P_Q}{t\sqrt{W}} f(l/W),$$

где t , W — толщина и ширина образца соответственно; $f(l/W)$ — функция значений l/W .

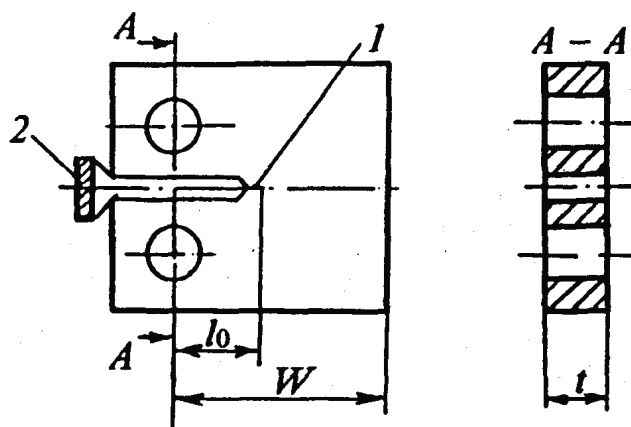


Рис.2.9 - Схема прямоугольного компактного образца для определения K_{Ic} :
1 - трещина усталости; 2 - датчик раскрытия

Значение K_Q принимается за критический коэффициент интенсивности напряжений K_{Ic} , если выполняются условия:

$$\frac{P_{\max}}{P_Q} \leq 1,1 \text{ (рис.2.12, б); } t \geq 2,5 \left(\frac{K_Q}{\sigma_{0,2}} \right); \frac{t - t_c}{t} 100\% \leq 1,5\%, \quad (2.4)$$

где t_c — толщина разрушенного образца в зоне максимального сужения.

Если условия (2.4) не выполняются, то необходимо взять образец с большей толщиной и повторить испытания.

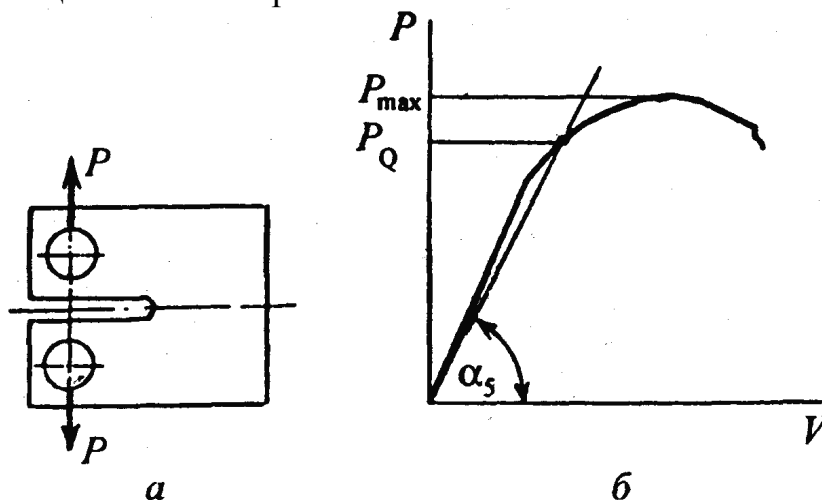


Рис.2.10 - Схемы внецентренного растяжения компактного образца (а),
типичной диаграммы $P-V$ (б)

Значения критического коэффициента интенсивности напряжений K_{Ic} и предела текучести $\sigma_{0,2}$, определенные при комнатной температуре ($T = 293 \text{ K}$) для некоторых конструкционных материалов, приведены в табл.2.3.

Таблица 2.3 - Значения K_{Ic} и $\sigma_{0,2}$ для некоторых конструкционных материалов

Название материала	Марка	K_{Ic} МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа
Легированная сталь	25ХНЗМФА	120	745
Титановый сплав	BT3-1	52	1010
Алюминиевый сплав	Д16	33	290

2.5.ИСПЫТАНИЯ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ

Для оценки склонности материалов к хрупкому разрушению широко применяют испытания на ударный изгиб образцов с надрезом, в результате которых определяют *ударную вязкость*. Ударная вязкость оценивается работой, затраченной на ударный излом образца и отнесенной к площади его поперечного сечения в месте надреза.

Согласно ГОСТ 9454—78 для определения ударной вязкости применяют призматические образцы с надрезами различных типов. Самыми распространенными типами являются образцы с U-образным (рис.2.11, а) и V-образным (рис.2.11, б) надрезами.

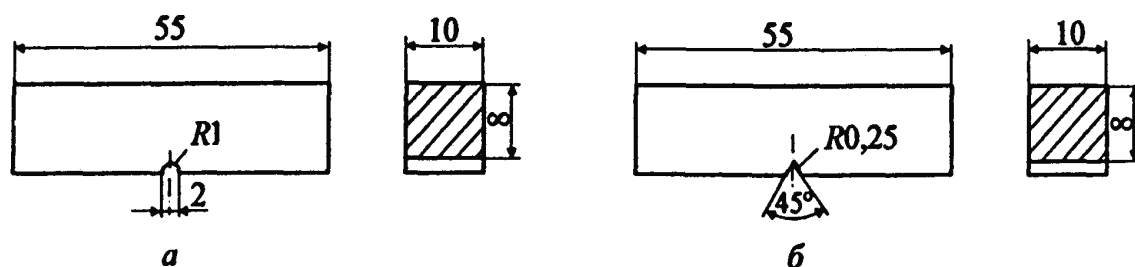


Рис.2.11 - Образцы для испытаний на ударную вязкость:
а — с U-образным надрезом; б — с V-образным надрезом

Испытания на ударную вязкость проводят на маятниковом копре (рис. 2.12).

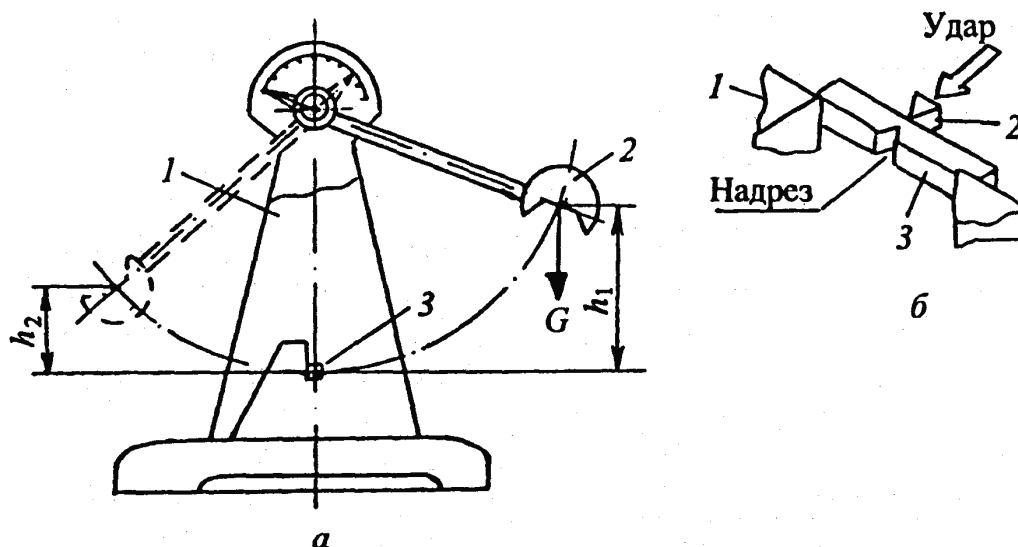


Рис.2.12 - Схема испытаний на ударную вязкость:
 а — схема маятникового копра; б — расположение образца на копре; 1 — корпус;
 2 — маятник; 3 — образец

Работа K , МДж, затраченная на ударный излом образца, может быть определена по следующей формуле:

$$K = G(h_1 - h_2),$$

где G — вес маятника; h_1 — высота подъема маятника до испытаний; h_2 — высота подъема маятника после испытаний.

Указатель на шкале копра фиксирует величину работы K и проградуирован с учетом потерь (трение в подшипниках, сопротивление стрелки указателя, сопротивление воздуха и др.).

Ударная вязкость обозначается символом KC , МДж/м², и подсчитывается как отношение работы K к площади поперечного сечения образца в надрезе F . Если образец с U-образным надрезом, то к символу добавляется буква U (KCU), а если с V-образным надрезом, то добавляется буква V (KCV).

Вместе с тем ударная вязкость является сложной механической характеристикой и состоит из двух составляющих: удельной работы зарождения трещины KC_3 и удельной работы ее распространения KC_p , т.е.

$$KC = KC_3 + KC_p.$$

Для охрупченных материалов основная часть работы идет на зарождение трещины, а работа распространения трещины незначительна. Для пластичных материалов работа распространения трещины имеет преобладающее значение. Анализ составляющих ударной вязкости позволяет более рационально выбрать материал и определить его назначение.

Существует несколько методов определения составляющих ударной вязкости. Наиболее широкое распространение получили методы Б.А.Дроздовского и А.П.Гуляева. По методу Б.А.Дроздовского испытывают ударные образцы с V-образным надрезом с заранее выращенной усталостной трещиной. Считается, что при разрушении образца вся работа динамического излома расходуется на распространение трещины, т. е. при таком испытании определяется величина K_{Cp} . Работа зарождения трещины K_{C3} в этом случае подсчитывается как разность между полной ударной вязкостью образца без усталостной трещины K_C и работой ее распространения K_{Cp} .

По методу А.П.Гуляева испытывают несколько ударных образцов, имеющих различный радиус округления в вершине надреза r . После испытаний и подсчета ударной вязкости каждого образца строится график (рис.2.13). Экстраполируя прямую на ось ординат, получают удельную работу распространения трещины K_{Cp} . В этом случае образец с радиусом надреза, близким к нулю, отождествляется с образцом, имеющим усталостную трещину.

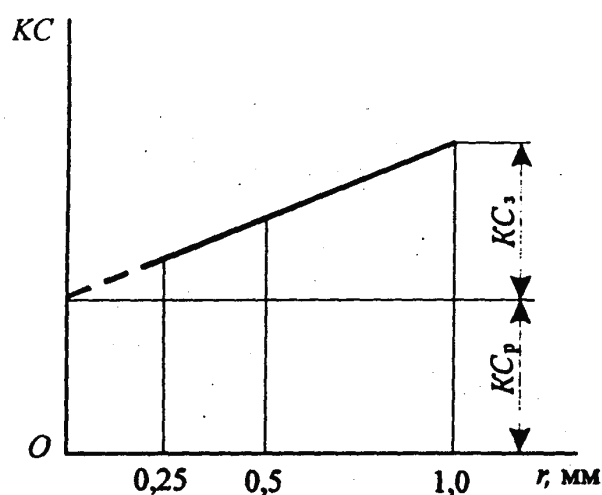


Рис.2.13 - Схема определения составляющих ударной вязкости по методу А.П.Гуляева

При сравнении оба метода дают достаточно близкие значения составляющих ударной вязкости.

2.6. ИСПЫТАНИЯ НА ХЛАДНОЛОМКОСТЬ

Хладноломкостью называют способность некоторых металлов охрупчиваться при низких температурах. К хладноломким металлам можно отнести металлы с решеткой объемноцентрированного куба, например Fe_α , и гексагональной, например Zn . Для этой группы металлов при определенной минусовой температуре наблюдается резкое снижение ударной вязкости.

К нехладноломким металлам можно отнести металлы с решеткой гранецентрированного куба, например Fe_γ , Al , Ni и др.

Деление металлов на хладноломкие и нехладноломкие является условным, так как, например, аустенитные стали, имеющие решетку гранецентрированного куба, тоже подвержены охрупчиванию, но только в меньшей степени и при более низких температурах, чем углеродистые и низколегированные стали, имеющие решетку объемноцентрированного куба.

Испытания на ударную вязкость при низких температурах позволяют получить хрупкое разрушение металла в результате одновременного действия надреза, повышенной скорости деформирования и температуры. На рис.2.14, а представлено температурное изменение ударной вязкости хладноломкой стали. Как видно из рисунка, снижение ударной вязкости происходит в некотором интервале температур. Внутри этого интервала могут быть хрупкие и вязкие изломы.

Характер падения ударной вязкости напоминает порог, что привело к выражению «*порог хладноломкости*». Температура, при которой происходит определенное падение ударной вязкости, называется *критической температурой хрупкости* $T_{кр}$. Количественно критическую температуру хрупкости можно определить по температуре, соответствующей началу порога хладноломкости (рис.2.14,а, точка 1), концу порога хладноломкости (рис.2.14, а, точка 3) и по заданному значению ударной вязкости KC_2 (рис.2.14, а, точка 2).

Критическую температуру хрупкости можно определить и другим способом — по характеру строения излома. Вязкий излом имеет волокнистое, а хрупкий — кристаллическое строение. При переходе из вязкого состояния в хрупкое доля волокнистого строения в изломе уменьшается, а кристаллического — увеличивается. Изменение доли волокнистого строения при температурах хладноломкости также имеет вид порога. За критическую температуру хрупкости принимают температуру, соответствующую равным долям волокнистого и кристаллического изломов. На рис.2.14,б доля волокнистого излома обозначена через V и оценивается в процентах. Для определения $T_{кр}$ на пороге хладноломкости находят точку, соответствующую $V=50\%$,

опускают перпендикуляр на ось температур и находят $T_{кр}$. Пример определения критических температур хрупкости $T_{0,4}$ и T_{50} для стали 20 приведен на рис.2.15.

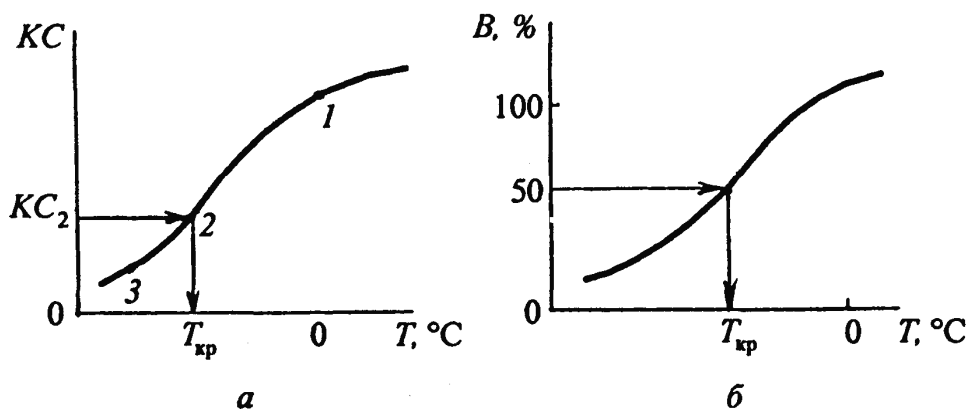


Рис.2.14 - Схема низкотемпературного изменения ударной вязкости (а) и волокнистости в изломе ударного образца (б)

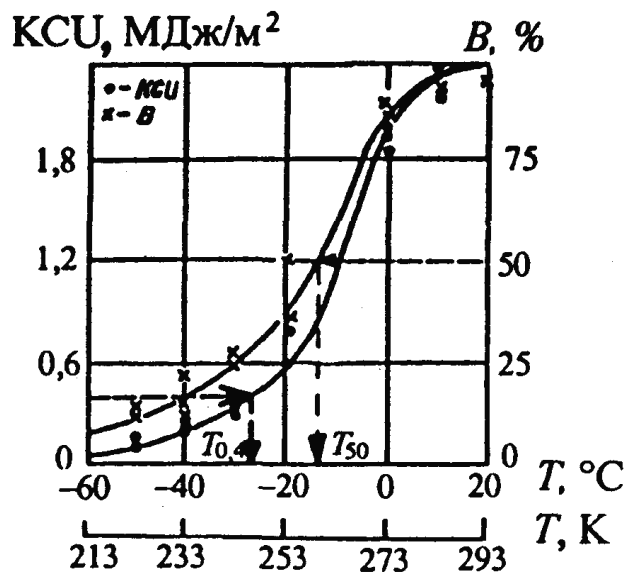


Рис.2.15 - Определение критических температур хрупкости $T_{0,4}$ (по $KCU=0,4 МДж/м^2$) и T_{50} (по $B = 50\%$) для стали 20

2.7. РАЗРУШЕНИЕ ПРИ УСТАЛОСТИ

Разрушение материалов при усталости отличается от разрушения при однократных нагрузках. Оно характеризуется отсутствием в изломе внешних признаков пластической деформации, т. е. в целом усталостный излом имеет характер хрупкого излома. Однако в микрообъемах и тонких слоях сечения нагруженного образца имеет место пластическая деформация, приводящая к зарождению трещин, которые, постепенно развиваясь и распространяясь, доводят материал до окончательного разрушения. При усталостном нагружении начало пластической деформации, обусловленное движением дислокаций, может иметь место при напряжениях меньше предела текучести. При увеличении числа циклов нагружения растет плотность дислокаций, прежде всего в поверхностных слоях. Тонкие линии скольжения на поверхности превращаются в характерные полосы, профиль которых состоит из выступов и впадин. Глубина впадин в зависимости от времени испытания может достигать 10 — 30 мкм. При образовании устойчивых полос скольжения наблюдается чередование областей с высокой и низкой плотностью дислокаций.

Зарождение усталостных трещин начинается в поверхностных впадинах. Один из возможных механизмов образования выступов и впадин связан с круговым движением винтовых дислокаций. Винтовая дислокация может перемещаться из одной плоскости в другую по замкнутому контуру за счет поперечного скольжения. В результате дислокация выходит на поверхность, где впоследствии формируются выступы и впадины.

Зарождение микротрещин при циклическом нагружении происходит на начальной стадии испытания. Микротрещина может зарождаться за счет притока вакансий и последующего возникновения и слияния микропор. В образце может возникнуть множество микротрещин. Однако развиваются не все, а только те, которые имеют наиболее острую вершину и наиболее благоприятно расположены по отношению к действующим напряжениям. Самая длинная, острая и глубокая трещина, распространяясь по сечению образца, доводит его до окончательного разрушения. Для усталостного излома образца характерно наличие зоны прогрессивно растущей трещины и зоны окончательного излома рис.2.16. В зоне прогрессивно растущей трещины можно наблюдать полосы в виде изогнутых линий. Полосы возникают за счет рывков и задержек движения трещины вследствие упрочнения металла у ее основания и расширения ее фронта.

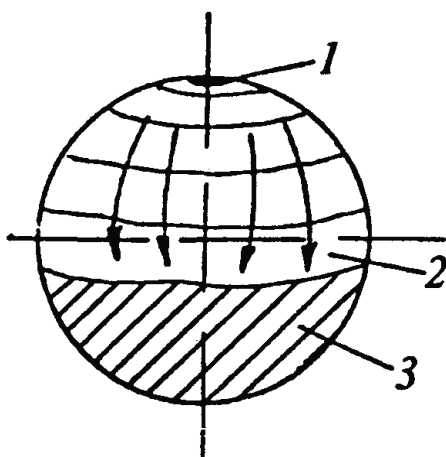


Рис.2.16 - Схема зарождения и развития трещины при переменном изгибе круглого образца:
 1 - зарождение трещины;
 2 - продвижение полос в изломе;
 3 - зона окончательного излома

На процесс разрушения при циклических нагрузках существенное влияние оказывают концентраторы напряжений. Концентраторы напряжений могут быть конструктивными (резкие переходы от сечения к сечению), технологическими (царапины, трещины, риски от резца), металлургическими (поры, раковины, неметаллические включения). Независимо от своего происхождения концентраторы напряжений в той или иной степени снижают предел выносливости при одном и том же уровне переменных напряжений. Для оценки влияния концентратора напряжений на усталость испытывают гладкие и надрезанные образцы при симметричном цикле напряжений. Надрез на образце выполняется в виде острой круговой выточки. Отношение предела выносливости, определенного на гладких образцах σ_{-1} к пределу выносливости, определенному на надрезанных образцах σ_{-1r} называют *эффективным коэффициентом концентрации напряжений* K_σ .

Итак, следует знать, что необходимость периодического контроля механических свойств металла с целью выявления опасных зон в деталях и конструкциях и предотвращения аварий. Более того, во многих отраслях промышленности (например, в теплоэнергетике, нефтегазохимии и др.) насчитывается большое число агрегатов, пробывших длительное время в эксплуатации и выработавших свой расчетный срок службы. Поэтому требуется уточненная оценка их остаточного ресурса, которая невозможна без определения и учета фактических механических свойств материалов, из которых изготовлены эти агрегаты.

Таким образом, при проведении механических испытаний стремятся воспроизвести такие условия воздействия на материал, которые имеют место при эксплуатации изделия, изготовленного из этого материала. Многообразие условий службы материалов обуславливает проведение большого числа механических испытаний. Но вместе с тем

основными признаками, позволяющими классифицировать виды механических испытаний, являются:

- способ нагружения (растяжение, сжатие, изгиб, кручение, срез, циклическое нагружение и др.);
- скорость нагружения (статическая, динамическая);
- протяженность процесса испытания во времени (кратковременная, длительная).

Существуют и другие признаки, которые характеризуются сложностью напряженно-деформированного состояния, режимами нагружения, типами образцов, агрессивностью среды.

2.8. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЫ

Технологическими пробами называются испытания металлов, выполняемые несложными способами и без тщательного измерения наблюдаемых свойств.

Такие испытания имеют целью выявить способность металла к тем или иным деформациям, которым он подвергается при работе или при обработке в холодном или горячем состоянии.

Качество металла по технологическим пробам определяется по внешнему виду после испытания (отсутствие надрывов, трещин, расслоения или излома свидетельствует о том, что металл выдержал пробу).

Некоторые технологические пробы стандартизованы, т.е. испытания производятся по определенным правилам. Этими правилами установлены размеры и формы образцов испытываемых металлов, инструментов и приспособлений для выполнения пробы.

Проба на загиб служит для определения способности металла (листов, прутков, различных профилей и т.д.) принимать заданный по размерам и форме загиб без надрывов и трещин.

Проба на загиб применяется для пластических металлов при толщине не более 30мм и производится в нагретом или холодном состоянии.

Различают загиб на определенный угол до параллельности загнутых сторон или до соприкосновения сторон (рис.2.16). Вид загиба должен быть оговорен в технических условиях.

Для проведения пробы на загиб применяют специальные машины, прессы, тиски с закругленными губками. Образцы, выдержавшие пробу, не должны иметь после загиба надлома, надрывов или трещин.

Проба на перегиб служит для определения способности металла выдерживать повторный загиб и разгиб и применяется при испытании качества полосового и листового материала длиной 100 — 150мм,

шириной до 20мм и толщиной до 5мм, а также проволоки и прутков диаметром от 0,8 до 7мм.

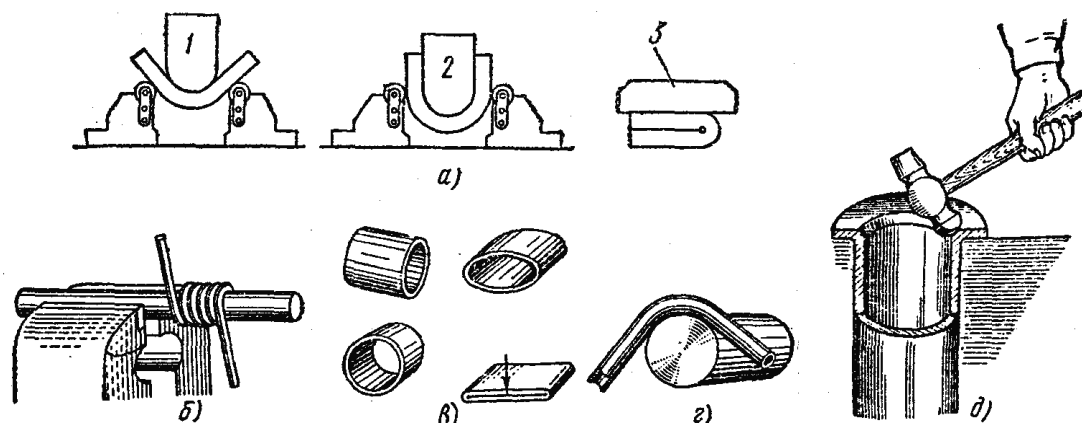


Рис.2.16 - Технологические пробы:

а — на загиб, *б* — на навивание проволоки, *в* — на сплющивание труб, *г* — на загиб труб, *д* — на бортование труб; 1 — на определенный угол; 2 — до параллельности сторон; 3 — до соприкосновения сторон

Проба проводится только в холодном состоянии. Проба состоит в загибе и разгибе образца в плоскости, перпендикулярной линии взаимного касания губок прибора, в котором образец зажимается в вертикальном положении. Загиб образца производится попеременно в правую и левую сторону на 90° с равномерной скоростью не более 60 перегибов в минуту до определенного числа перегибов, указанного в технических условиях.

Проба на перегиб имеет важное значение для оценки способности к деформированию проволоки, при испытании которой на разрыв невозможно определить это свойство.

Проба на навивание проволоки позволяет определить способность проволоки диаметром до 6мм принимать заданную форму. Кусок проволоки навивают на круглый стержень (оправку) 5—10 витками. Качество проволоки определяется способностью выдерживать без повреждений навивание плотно прилегающими витками на стержень и развивание в холодном состоянии. Чем пластичнее проволока, тем плотнее будет ее прилегание к стержню.

Проба труб на сплющивание производится для определения качества труб по их свойству сплющиваться без повреждений под давлением прессы, молота или от ударов молотка до предела, установленного техническими условиями. Длина образца выбирается равной диаметру трубы. В зависимости от технических условий испытание может производиться в холодном и горячем состоянии. Признаком того, что образец выдержал испытание, служит отсутствие в нем после сплющивания трещин или надрывов.

Проба труб на загиб применяется для определения способности образца трубы загибаться без повреждений. Испытание состоит в том, что заполненную сухим чистым речным песком трубу изгибают вокруг оправки на угол 90° . После загиба труба не должна иметь надрывов, трещин, отслоений и других дефектов. Диаметр оправки определяется техническими требованиями.

Проба труб на бортование имеет целью установить способность их подвергаться деформациям.

Определение марки стали по искре. В производственных условиях можно приблизительно определить марку стали путем искровой пробы. Основана эта проба на том, что при обработке стали абразивными кругами образуется мелкая стружка, которая, сгорая в воздухе, дает сноп искр, отличающихся друг от друга по форме и цвету. Чем больше в стали содержится углерода, тем больше в ее искрах светлых звездочек. Присутствие в стали вольфрама можно установить по красному цвету искр, наличие хрома — по оранжевому и т. д. Таким образом, при известном навыке, проба на искру позволяет приблизительно судить о химическом составе стали. Более точно химический состав стали определяют в специальных заводских лабораториях.

Метод определения стали по искре применяется при наличии станков с соответствующими абразивными кругами и специальных эталонов, используемых для сравнения характера искр. При возможности следует пользоваться заводскими лабораториями.

В условиях небольших ремонтных мастерских для приближенного определения марки стали и вида чугуна применяют методы испытания на искру и тарированными напильниками.

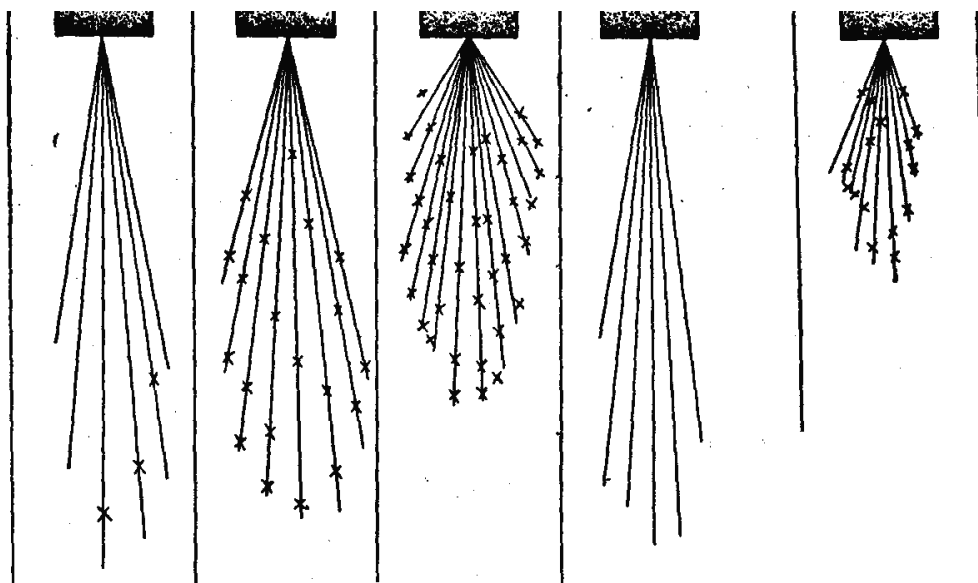


Рис.2.17 – Виды искр стали

Таблица 2.4 – Виды искр стали и чугуна (некоторых марок)

Испытуемый материал <i>1</i>	Характеристика искры <i>2</i>
Низкоуглеродистая сталь СтО; Ст1; Ст2; Ст3; 05кп; 08; 10; 15; 20 и др. (содержание углерода до 0,25%)	Длинная соломенно-желтая прямая искра в центре с небольшими ответвлениями по краям, почти без звездочек, с небольшими утолщениями на концах (рис.2.17, а). При повышении содержания углерода в стали количество звездочек увеличивается
Среднеуглеродистая сталь Ст5; Ст6; 35; 40; 45; 50; 55; 60 и др. (содержание углерода 0,3—0,6%)	Искра более темного цвета по сравнению с искрой малоуглеродистой стали—золотисто-темно-желтая с увеличенным числом звездочек и большим количеством ответвлений (рис.2.17, б)
Высокоуглеродистая сталь У7; У8; У9; У10; У11; У12; У13; 70 и др. (содержание углерода свыше 0,65%)	Искра красноватого цвета; пучок широкий, со множеством ответвлений и большим числом звездочек (рис.2.17, в), более короткий, чем у низкоуглеродистой и среднеуглеродистой стали
Быстрорежущая сталь Р9; Р18; Р9Ф5; Р18Ф2; Р9К5 и др.	Искра красноватого цвета, тусклая, без звездочек; пучок узкий, имеет большую длину (рис.2.17, г)
Марганцовистая сталь	Искра белого цвета; пучок широкий сильно разветвленный на концах, более короткий, чем у высокоуглеродистой стали (рис.2.17, д)

В практике ремонтно-эксплуатационных производств газовых и энергетических хозяйств применяются и другие методы испытания на технологичность материалов.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные свойства металлов и сплавов. Охарактеризуйте их.
2. Механические свойства, способы их определения.
3. Назовите виды разрушения материалов и чем они характеризуются? Роль дислокаций в образовании микротрещин.
4. Для чего необходимо знать количественные показатели механических свойств материалов?
5. Какие существуют методы испытания материалов на твердость? Изложите сущность метода определения твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу.

6. Какие показатели механических свойств характеризуют прочность и пластичность материалов при их растяжении? Как они определяются, обозначаются и в каких единицах?
7. Что такое ударная вязкость материалов? Как она определяется, обозначается и в каких единицах выражается?
8. Что такое порог хладноломкости и критическая температура хрупкости материалов? Как определяется критическая температура хрупкости?
9. Что называется трещиностойкостью материалов и какой показатель может являться ее количественной характеристикой?
10. Технологические пробы, способы их определения.
11. Определите марку материала по искре.